Soluzioni costruttive per edifici in legno

a cura di Antonio Frattari

CREATE AND PROTECT®

SOMMARIO

CAPITOLO 1
Gli edifici in legno *di Antonio Frattari*

CAPITOLO 2
Comfort e sicurezza *di Alessia Gadotti*

CAPITOLO 3
Sistemi e soluzioni costruttive *di Antonio Frattari*

Premessa

Il libro è incentrato sulle tecniche costruttive per realizzare quelli che si definiscono "edifici in legno", in cui il legno ha un ruolo fondamentale in termini strutturali e di finitura, ma non necessariamente è l'unico materiale impiegato in ambedue le accezioni. È articolato in tre capitoli ognuno dei quali avvicina a delle specifiche problematiche.

Il primo capitolo inquadra le tecniche costruttive in legno in termini storico-evolutivi, dando una rapida visione dell'evolversi delle tecniche e quali di esse si sono sviluppate in Italia con particolare riferimento agli ultimi decenni.

Il secondo capitolo è focalizzato su quelli che sono i riferimenti normativi e le soluzioni costruttive più ricorrenti nella progettazione e nella realizzazione degli edifici in legno per garantire il benessere degli occupanti in termini di sicurezza e di comfort termo-igrometrico e acustico.

Nel capitolo 3 sono descritte le caratteristiche più salienti delle tecniche costruttive in legno ordinate secondo la classificazione più ricorrente dei sistemi in legno e cioè: "Pannelli XLam", "Pannelli Intelaiati", "Nuovo Blockbau", "Travi e Pilastri" . A ciascuno di essi è stato dedicato un sottocapitolo che si chiude con le "schede tecniche" frutto di una fattiva collaborazione tra il "Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica" dell'Università di Trento e l'ufficio tecnico della Rockwool Italia. In queste schede sono riportati i dettagli costruttivi, caratteristici dei diversi sistemi, esemplificativi delle principali correlazioni comprese quelle in cui il legno è relazionato con altri materiali, come ad esempio, le strutture in cemento armato nei nodi relativi all'attacco a terra dell'edificio.

I dettagli non esauriscono tutte le potenzialità dei sistemi costruttivi in legno e dei materiali isolanti impiegati. Sono solo esempi di alcune soluzioni dei principali punti nodali dell'edificio. L'azione progetto è, infatti, un processo complesso e articolato in cui, a seconda delle esigenze e delle conseguenti prestazioni che si vogliono raggiungere, la stessa correlazione tra componenti analoghi può essere materialmente realizzata in maniera differente pur garantendo le stesse prestazioni. Si possono avere configurazioni, stratificazioni e modalità di unione tra gli elementi costruttivi base che, pur completamente diverse, soddisfano requisiti analoghi o addirittura uguali per garantire condizioni termo-igrometriche soddisfacenti per il benessere degli occupanti l'edificio.

I dettagli delle schede vanno visti e letti in questi termini, come esempi di situazioni particolari che rispondono a ben definite esigenze statiche e condizioni termo-igrometriche interne predefinite. Sono dettagli guida, generalizzabili nel metodo e nella sostanza, soluzione definita di uno specifico caso, quindi da verificare nelle situazioni particolari del singolo progetto per quanto riguarda dimensioni e costituzione degli elementi costruttivi. Non sono e non vogliono essere la panacea delle risoluzioni costruttive, ma solo una possibile ed utile guida a chi progetta un edificio con i sistemi costruttivi in legno e affronta le loro problematiche relativamente alla protezione dal fuoco, all'isolamento termico e all'isolamento acustico.

I diagrammi di Glaser e gli schemi relativi ai flussi termici sono stati elaborati dall'Ing. Alessia Gadotti.

CAPITOLO 1
Gli edifici in legno

1.1 Premessa

Nell'immaginario collettivo degli Italiani la casa di legno coincide con la capanna, la baracca, la costruzione provvisoria, la casa "stile alpino" ecc. (Figura 1.1). Al contrario, in molti ambiti geografici e conseguentemente culturali, gli edifici in legno sono molto diffusi, costruttivamente articolati e complessi. Gli esempi potrebbero essere infiniti, tra questi si possono citare le case norvegesi, le "italianate" di S. Francisco, la casa giapponese, i palazzi reali cinesi, ecc. (Figure 1.2, 1.3). Oggi gli edifici in legno suscitano un nuovo interesse per le loro prerogative di sostenibilità soprattutto perché realizzati con un materiale naturale, quindi rinnovabile, che minimizza l'impatto sulle matrici ambientali aria, acqua e suolo.

La produzione della maggioranza dei prodotti per l'edilizia incide in maniera rilevante sull'inquinamento atmosferico e il conseguente effetto serra, a causa delle notevoli emissioni di anidride carbonica. Il legno è l'unico materiale, invece, che quando viene prodotto non induce alcun effetto negativo, anzi il contrario. Gli alberi, crescendo, inglobano anidride carbonica sottraendola all'atmosfera e fissandola per sempre nel manufatto con un rapporto di 1,01 ton di anidride carbonica per ogni mc di legno. Anche in fase di realizzazione si riduce l'incremento di CO_2. La leggerezza del materiale, 5 volte inferiore al cemento armato a parità di resistenza, richiede meno impegno energetico nei trasferimenti stradali e nelle movimentazioni in cantiere, ovvero minore impegno di fonti energetiche non rinnovabili, potenzialmente origine di CO_2 e con pesanti costi ambientali. La facile movimentazione degli elementi costruttivi incentiva la prefabbricazione che consente di ridurre i tempi di realizzazione in cantiere, attraverso la razionalizzazione dei processi produttivi svolti in officina, liberando il processo edilizio dalla stagionalità, garantendo continuità di lavoro, apportando così, in ultima analisi, anche un positivo risultato in termini di sostenibilità sociale.

L'impatto con il suolo, in termini di eutrofizzazione dei terreni, al contrario di quanto avviene con altri materiali, è inesistente in quanto tutte le lavorazioni sono a secco. Quest'ultima caratteristica poi incide in maniera rilevante anche nelle fasi di dismissione e riciclo, in quanto si riducono i costi economici e si annullano quelli ambientali proprio per le caratteristiche delle giunzioni degli elementi costruttivi, totalmente di tipo meccanico, che facilitano lo smontaggio e la raccolta differenziata dei materiali per il riciclo.

Anche in fase di utilizzo degli edifici, quelli in legno hanno buone performance in termini di impatto sulle matrici ambientali. Spesso essi sono integrati con dispositivi e soluzioni costruttive finalizzate al basso consumo energetico in fase di gestione. Spesso sono pro-

Figura 1.1 - La casetta per bambini sull'albero (Cile).

Figura 1.2 - Edifici a Røros (Norvegia).

Figura 1.3 - Castello Nijo a Kyoto (Giappone).

Figura 1.4 - Abitazione unifamiliare a Valdaora (Alto Adige).

Figura 1.5 - Casa Minka (Giappone).

gettati e conformati per poter meglio sfruttare il sole; hanno, ad esempio, parti aggettanti messe in modo tale che in estate l'interno risulti in ombra senza che si surriscaldi mentre, durante la stagione invernale, la radiazione solare possa entrare all'interno e i solai, colpiti direttamente da questa, possano immagazzinare calore che poi cedono durante la notte. Inoltre, possono essere integrati con sistemi per la generazione di energia da fonti rinnovabili come i sistemi solari attivi ed eolici, in combinazione o no con sistemi solari passivi, cioè con dispositivi e soluzioni tecniche per migliorare la loro efficienza energetica (Figura 1.4). Esempi in tal senso sono i collettori solari per la produzione di acqua calda sanitaria e le serre solari: elementi di mediazione tra lo spazio esterno e interno che coadiuvano sistemi di riscaldamento tradizionali e convenzionali nel mantenimento di idonee condizioni termo-igrometriche ambientali.

1.2 Evoluzione dei sistemi costruttivi in legno

Gli attuali sistemi costruttivi in legno affondano le proprie radici nelle tecniche del passato e ne sono una loro evoluzione, lenta nel tempo, ma molto incisiva legata allo sviluppo delle tecniche per affinamento degli utensili e potenziamento dei mezzi d'opera.

Fin dalle epoche preistoriche il legno è stato il materiale più facilmente reperibile e più versatile che l'uomo abbia usato per realizzare oggetti d'uso e abitazioni. In edilizia, in particolare, fino alla fine dell'Ottocento, è stato il più impiegato insieme alla pietra. Successivamente, almeno in alcuni contesti geografici, è stato soppiantato dall'acciaio prima e dal cemento armato poi. Dell'uso del legno nella realizzazione di abitazioni e ricoveri in epoca preistorica si sa ben poco; d'altra parte la deteriorabilità del materiale ha causato la perdita di molte testimonianze del passato. Nonostante le costruzioni in legno di questo periodo siano scomparse, l'attento esame dei luoghi dove si suppone ci fossero degli insediamenti, più o meno stabili, fornisce spunti per la ricostruzione delle antiche dimore. Un esempio che in qualche modo ci fa attualizzare questi ricoveri è dato dai semplici e primitivi rifugi ancora oggi usati da alcune popolazioni allo stato primitivo. Dopo i ripari alquanto provvisori e le prime leggere capanne costruite nel periodo Maddaleniano e che certamente non erano frutto di lavorazioni accurate, dato anche il livello rudimentale degli attrezzi a disposizione, i primi esempi di costruzioni in legno vere e proprie sono databili all'era paleolitica superiore. Dopo il Mesolitico, avaro di resti che comunque testimoniano una diffusione del tipo ligneo come abitazione permanente, è nel Neolitico che si può cominciare a parlare di vere e proprie case in legno. Sono di questo periodo i resti di alcuni pali infissi in terreni paludosi e di qualche intelaiatura che documentano come le palafitte e le terremare della civiltà neolitica fossero basate sull'impiego del legno (in prevalenza quercia, ontano, larice) e fossero edifici compiuti con una maglia strutturale riconoscibile e una gerarchia di elementi costruttivi portanti e/o finalizzati al comfort. Questi edifici troveranno forma e caratteristiche costruttive ancora più compiute nelle successive età, in particolare nella terza - quella del ferro - con la tambra e la casa retica dell'area alpina; la casa lunga Europea dell'Europa del nord; la capanna di dimensioni ridotte, fondata su

palafitte, dell'Europa centromeridionale e la capanna di piccole dimensioni, in genere con una sola stanza, dell'area Balcanica.

Per quanto riguarda le "epoche storiche", abbiamo una maggiore documentazione per la presenza di resti, di documenti pittorici e la trasposizione nell'architettura di pietra di forme proprie di quella in legno. Nell'antico Egitto le costruzioni in legno ebbero un grosso sviluppo già intorno al 2700 a.C. soprattutto nella realizzazione di edifici per la residenza. I segni di questa edilizia minore si ritrovano in tutta la successiva architettura della pietra che ne riprese le forme e, talvolta impropriamente, le soluzioni costruttive. Basta ricordare che gli ordini architettonici derivano direttamente da forme vegetali. Esempio ne sono le colonne palmiformi, papiriformi e campaniformi. Analoghe tecniche costruttive furono impiegate nella fiorente architettura in legno che si sviluppò, in questo periodo e nelle epoche successive, in Persia, in India, in Cina, in Giappone e in tutto il quadrante del sud-est asiatico. Come esempi in tal senso possono essere citate le abitazione Yajoi del 200 a.C. e, come loro evoluzione, le successive case Minka (Figura 1.5). In Grecia e a Roma il legno è stato usato prevalentemente come materiale complementare della muratura per realizzare la parte resistente delle chiusure orizzontali, delle partizioni interne e delle chiusure verticali (l'*opus craticium* a Roma). Comunque, si tratta sempre di un'architettura minore tanto che non si può individuare una vera e propria cultura della casa in legno in questi contesti.

Certezze sulle tecniche costruttive le abbiamo dal Medioevo in poi, in quanto molti edifici sono ancora esistenti. È evidente che questi non sono originali in tutte le loro parti, spesso parzialmente o totalmente ricostruiti. Conservano, tuttavia, forme e caratteristiche che permettono lo studio e la classificazione delle tecniche usate. Una caratteristica che salta subito agli occhi è che la loro immagine è sempre stata, fino alla prima metà dell'Ottocento, fortemente caratterizzata dai diversi procedimenti costruttivi che, al contrario di quelli basati sulla muratura, hanno consentito una varietà di risoluzioni formali diverse e coerenti con le tecniche. Gli edifici in legno hanno sempre avuto una doppia valenza realizzativa riferibile a due fondamentali modi di procedere che derivano dall'intenzionalità del costruttore: il procedimento "a setti" e il procedimento "a gabbia". Nel primo caso (Figura 1.6a) l'organismo edilizio è pensato dal carpentiere come generato da piani che determinano al contempo lo spazio costruito e la maglia portante. Nel secondo caso (Figura 1.6b) uno scheletro portante definisce una griglia strutturale nella quale si definisce lo spazio costruito con la chiusura (tamponatura) delle maglie a seconda delle esigenze funzionali.

A seconda dell'epoca storica e del contesto geografico e sociale un procedimento è stato usato più o meno dell'altro, e viceversa. La scelta, oltre che dalla maggiore o minore ricchezza forestale del contesto, è stata determinata dalla sensibilità dei costruttori, e in maniera determinante dal clima. Una certa valenza l'ha anche avuta l'essenza impiegata con la maggiore o minore linearità del fusto dell'albero. Esempi emblematici in tal senso sono le case della tradizione costruttiva inglese e le *stavkirken* Norvegesi. Comunque, il procedimento che gestualmente è più vicino al legno, è quello a gabbia. La leggerezza de-

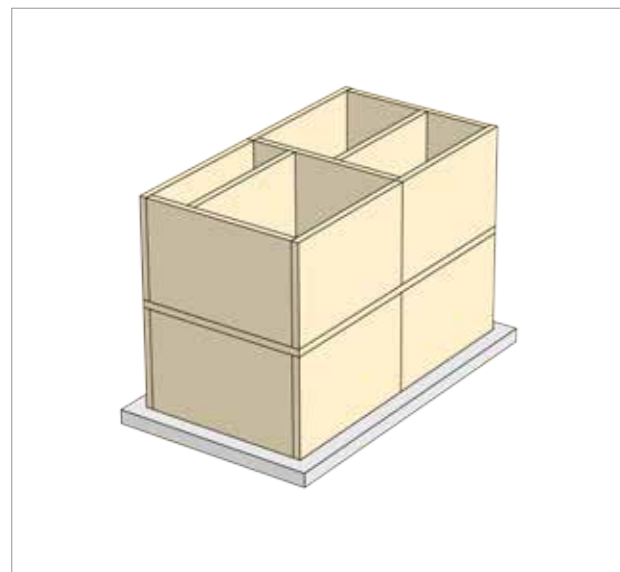



Figura 1.6a - Schematizzazione del procedimento a setti.

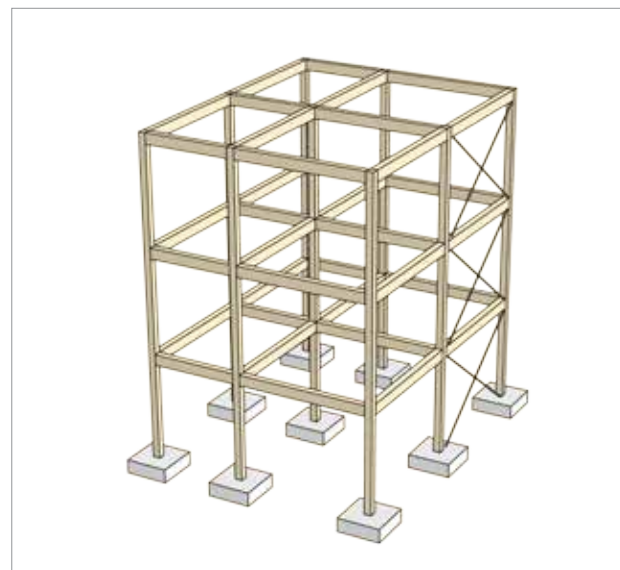



Figura 1.6b - Schematizzazione del procedimento a gabbia.

Figura 1.7 - Il sistema costruttivo blockbau (Trentino).

Figura 1.8 - Sistemi costruttivi cruck (a) e bay system (b) (Inghilterra).

Fig.1.9 - Sistema costruttivo grind (Norvegia).

gli elementi costruttivi, la loro capacità di resistere alla flessione e al taglio, la possibilità di essere collegati con la semplice legatura o con incastri facilmente realizzabili, la possibilità di eseguire montaggi a piè d'opera di elementi complessi hanno sempre favorito la realizzazione di edifici con uno scheletro portante tamponato negli spazi lasciati liberi dagli elementi di supporto o rivestito con un "manto" continuo di chiusura per lo più ligneo. In alcuni contesti geografici l'abbondanza di legname, unita alle condizioni climatiche che imponevano di aumentare le capacità isolanti delle pareti esterne, ha portato invece alla realizzazione di edifici a setti portanti costituiti da tronchi sovrapposti usati come conci. In tal modo i setti, oltre che svolgere la funzione portante, avrebbero assicurato un buon comfort interno e con un procedimento costruttivo molto più semplice di quello a gabbia.

La materializzazione del procedimento a setti è il sistema *blockbau* in cui i setti sono realizzati per sovrapposizione di elementi massello (Figura 1.7). I tronchi sono scortecciati, più o meno squadrati, collegati con modalità differenti tra loro per garantire da un lato la sicurezza statica, dall'altro la tenuta all'acqua e all'aria.

Il procedimento a gabbia presenta, invece, una maggiore variabilità di soluzioni costruttive riferibili a due diverse tecniche funzionali al modo di concepire il sistema costruttivo: "a telai piani" e "a telai spaziali". Nel primo sistema l'ossatura portante dell'edificio è generata per iterazione lungo una direzione di telai a nodi rigidi, realizzati con due montanti e una trave principale, uniti tra loro dalle travi di collegamento. L'orditura secondaria, supporto dell'impalcato dei solai, poggia sulle travi principali. Esemplificativi in tal senso sono i sistemi della tradizione inglese, il *cruck* (Figura 1.8a) e il *bay system* (Figura 1.8b), e il *grind* della tradizione norvegese (Figura 1.9).

Nei sistemi a telai spaziali, invece, non c'è una gerarchia di travi così definita tanto che le orditure dei solai in campate vicine possono essere in direzioni diverse. Spesso con questa impostazione costruttiva i pilastri si interrompono ad ogni piano, non sono passanti e si può dire che l'organismo non è più generato da una gabbia che viene tamponata, ma da pannelli intelaiati che si giustappongono e generano lo spazio costruito. Il carpentiere non pensa più l'organismo come una gabbia nella sua globalità, ma come l'unione di pannelli che costruttivamente sono risolti, al loro interno, con un'intelaiatura le cui maglie possono essere chiuse con tecniche diverse. Esempi in tal senso sono sistemi costruttivi quali il *box frame* (Figura 1.10) inglese, il *fachwerk* tedesco (Figura 1.11) o il *colombage* francese (Figura 1.11,b).

Dal Medioevo alla rivoluzione industriale le due modalità operative sono state usate in maniera più o meno diffusa in rapporto al contesto geografico e hanno subito un'evoluzione che è andata di pari passo con quella dei mezzi disponibili per le lavorazioni.

A grandi linee si potrebbe dire che nell'Europa orientale e nella regione Scandinava, ricche di foreste di abeti e larici, si sia sviluppata di più la tendenza a costruire con un procedimento a setti, mentre nell'Europa Centro-Occidentale e nell'area Turco-Ottomana si siano maggiormente diffusi i procedimenti a gabbia.

In Cina, in Giappone e nel sud est asiatico, hanno prevalso i procedimenti a gabbia caratterizzati, anche, da soluzioni di dettaglio, specialmente nei nodi strutturali, complesse ed estremamente raffinate (Figura 1.12).

Nelle Americhe, settentrionale e latina, non c'è stata una prevalenza nell'uso dell'uno o dell'altro, in quanto le scelte costruttive sono state influenzate molto dal paese di origine degli immigrati. A seconda della provenienza c'era una maggiore propensione per l'uso di un procedimento o di un altro.

Con la rivoluzione industriale si assiste ad un cambiamento delle risoluzioni costruttive anche in maniera radicale. Nel procedimento a setti la modificazione è stata più profonda. Da un lato si è conservato il *blockbau*, dall'altro si è introdotta una tecnica che prevedeva la realizzazione di setti intelaiati al loro interno e successivamente tamponati, come il *platform frame* evolutosi poi nel procedimento a pannelli portanti. Il procedimento a gabbia, invece, concettualmente non ha subito un cambiamento così profondo. Le variazioni sono state tutte a livello di realizzazione dei nodi e dei dettagli costruttivi in genere.

Le cause di questo cambiamento epocale nel modo di costruire in legno vanno ricercate in due fatti fondamentali: l'introduzione dei segati unificati e dei chiodi stampati. Con questi nuovi elementi costruttivi base, mutuando le tecniche dei sistemi intelaiati e di quelli a pannelli intelaiati, si sviluppano rispettivamente il *ballon frame* e il *modern braced frame* prima, il *platform frame* poi. Quest'ultimo in particolare è la diretta trasposizione, con elementi costruttivi base nuovi, del *fachwerk* o sue varianti e, per la sua semplicità costruttiva, avrà ampia diffusione nei successivi 200 anni soprattutto negli USA e nel Canada (Figura 1.13).

Nella seconda metà del secolo XX, tutti i sistemi costruttivi in legno subiscono una profonda modificazione sia per l'introduzione di nuove macchine per la lavorazione, sia per la tendenza in atto a trasferire in officina il maggior numero possibile di cicli di lavorazione del cantiere tradizionale. Questo processo evolutivo di prefabbricazione sempre più complessa ha riguardato soprattutto la realizzazione degli edifici a pannelli intelaiati derivati concettualmente dal *platform frame*. L'evoluzione del sistema *blockbau* è, invece, più legata alle tecniche di lavorazione degli elementi costruttivi base semplificate dall'uso delle macchine a comando numerico. Con queste ultime è, infatti, possibile prefinire tutti gli elementi del sistema riducendo le lavorazioni in opera al solo assemblaggio senza aggiustaggi. Analogamente si può dire del sistema a scheletro portante (travi e pilastri) che ha avuto giovamento sia dalle stesse innovazioni tecnologiche a livello di lavorazioni in officina, sia dall'impiego di elementi metallici a vista o a scomparsa per la realizzazione dei nodi scorporati.

Figura 1.10 - Little Moroton Hall: esempio di box frame (Inghilterra).

Figura 1.11 - Edifici in fachwerkhaus (Germania).

Figura 1.12 - Edificio a gabbia a Kyoto (Giappone).

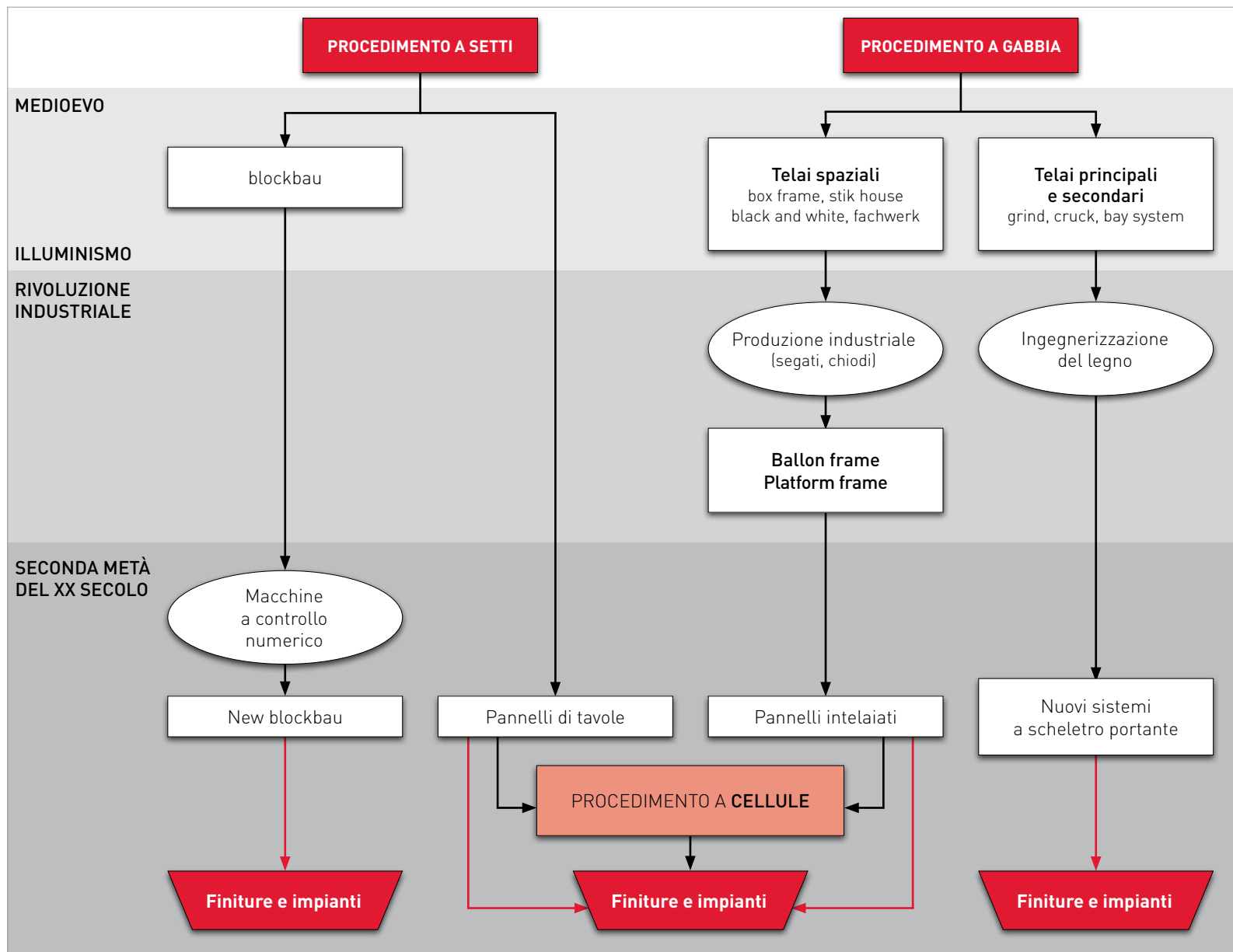



Figura 1.13 - Evoluzione storica dei sistemi costruttivi in legno.

1.3 L'evoluzione dei sistemi costruttivi in legno in Italia

In Italia il processo evolutivo è stato poco sentito per il limitato uso del legno in edilizia. La parte della penisola che si proietta nel Mediterraneo è stata sempre caratterizzata da una radicata cultura della pietra tanto che, nei paesi mediterranei, più che di case in legno si può parlare di legno nelle case, in quanto ha sempre rivestito un ruolo complementare alla muratura di pietra naturale o artificiale.

Anche nei contesti in cui c'era una consistente produzione di legname proveniente da querceti, faggeti, castagneti ovvero boschi cedui misti, il legno è stato usato massimamente per realizzare solo gli elementi portanti secondari: solai intermedi e di copertura. Ci sono, ovviamente, eccezioni estremamente localizzate e rare come ad esempio alcuni edifici del centro storico di Bologna, dove i portici sono interamente con una struttura lignea, o i trabocchi della costa Adriatica, interamente in legno di quercia e di robinia.

Maggiormente diffuso è stato l'uso del legno nell'area alpina, dove il sistema montuoso è solcato da valli profonde, spesso molto ampie, i cui versanti sono sempre stati ricchi di boschi di abete rosso, larice e pino. In quest'area la presenza di legno negli edifici per abitazione o di servizio è antica, strettamente relazionata al territorio e funzione della quota con profonde differenze architettoniche e costruttive tra una valle e l'altra, come mostra la vasta iconografia sviluppatasi nei secoli. Un esempio sono gli affreschi della torre dell'Aquila a Trento che danno un'immagine realistica delle cittadine e dell'intorno costruito agrario e montano in epoca medioevale-rinascimentale nelle differenti valli. Queste modalità realizzative variabili, gerarchizzate per quota e localizzazione, si sono conservate. Una ricognizione ai giorni nostri nelle valli alpine mostra come in quelle più basse e di comunicazione (Valsugana, Val Pusteria) gli edifici sono interamente in pietra con poche sovrastrutture lignee. In quelle intermedie (Val di Non, Val Venosta, Valtellina) le sovrastrutture lignee prendono una certa importanza sulla muratura in pietra (Figura 1.14). Nelle valli più alte e chiuse dalla montagna (Val di Rabbi, Val d'Ultimo, Val di Fassa), ci sono degli edifici interamente di legno che poggiano su di un basamento lapideo (Figura 1.15).

Sulla base della pur localizzata esperienza si è cominciato a costruire in legno anche in Italia. Le nuove tecniche costruttive si sono dapprima affermate in modo particolare nell'area alpina accanto a quelle radicate nella tradizione. Nel resto di Italia si è assistito ad un crescente interesse per le costruzioni in legno per la realizzazione di abitazioni, di edifici per il terziario e di grandi coperture. Questa nuova tendenza, manifestatasi agli inizi del 2000, sta prendendo piede dopo le positive esperienze post sisma dell'Aquila, dove il legno è stato usato in oltre il 70% delle nuove realizzazioni, e dell'Emilia Romagna. In queste tristi circostanze si sono potute verificare le potenzialità del costruire con il legno, come elemento strutturale e di finitura, che possono essere riassunte nel binomio virtuoso: rapidità di esecuzione e ottimizzazione delle condizioni di comfort interno in rapporto al consumo energetico, peculiarità che caratterizzano oggi le costruzioni in legno. Per quanto riguarda la rapidità di esecuzione, i vantaggi derivano soprattutto dalla leggerezza

Figura 1.14 - Edificio in legno e muratura in Val di Fiemme (Trentino)..

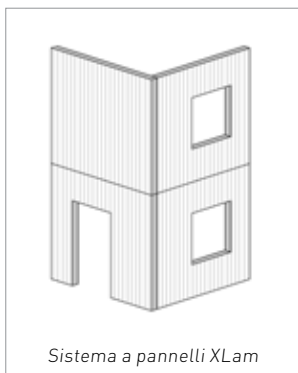
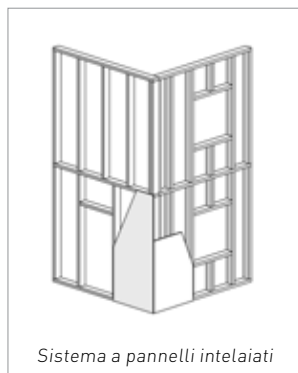
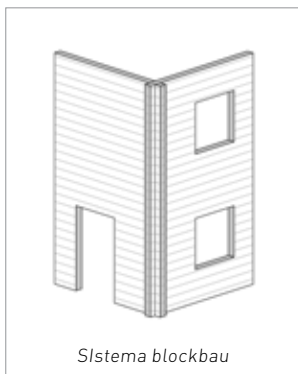
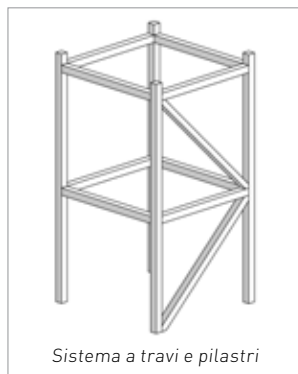
Figura 1.15 - Edificio in Val di Fassa (Trentino).

Sistema a pannelli XLam

Sistema a pannelli intelaiati

SIstema blockbau

Sistema a travi e pilastri

Figura 1.16 - Schematizzazione dei principali sistemi costruttivi in Italia.

Figura 1.17 - Prefabbricazione di un pannello intelaiato (Norvegia).

del materiale in rapporto alle sue elevate capacità portanti e dalla possibilità di realizzare connessioni a secco, che favoriscono i trasporti del materiale e il preassemblaggio dei componenti con la conseguente riduzione dei tempi di cantierizzazione. L'ottimizzazione del comfort ambientale, in rapporto ai consumi energetici, è resa possibile dalle soluzioni costruttive che prevedono l'uso di sistemi di isolamento termico ed acustico.

Per queste motivazioni il mercato delle case di legno in Italia è in continua crescita e una prima tangibile dimostrazione emerge dalla ricerca "Il mercato Italiano delle case in legno nel 2010, Analisi di mercato, Previsioni fino al 2015" commissionata dall'Assolegno allo Studio Paolo Gardini Consulting. Un passo in particolare è molto significativo: "nel 2005 si stimava che le costruzioni in legno in Italia fossero circa 1.000, oggi questa cifra è quintuplicata: solo nel 2010 le abitazioni in legno in Italia (escludendo le costruzioni in Abruzzo, che possono essere considerate un'eccezione) sono state più di 5.000". Quindi nonostante la crisi, ancora in atto, che ha investito l'edilizia dal 2008, la quota di mercato delle case in legno è aumentata e alla fine del 2013 esse rappresentavano il 6% delle nuove costruzioni.

Alla luce degli ultimi risultati si stima che alla fine del 2015 la quota di mercato delle case di legno sarà del 15% sul totale delle nuove costruite, come riferisce Giovanni Mancini nel suo articolo su "Casa 24 del Sole 24 ore.com". Questo è un valore che fa riflettere sull'impulso che hanno avuto le case in legno in Italia, in quanto è quasi analogo a quello che si presume si registrerà in Francia nello stesso periodo e che si dovrebbe attestare intorno al 15-20% (fonte: Casaclima-Bolzano). Ovviamente la situazione in Italia non è ancora matura come quella che si registra nei paesi Scandinavi (80%) o in Austria (30%) dove peraltro il mercato delle case in legno continua ad essere attivo. Nell'ultimo anno l'aumento delle case di legno in Austria è stato del 12,7% (fonte: Holzindustrie-Vienna).

Ulteriore fattore incentivante, che contribuisce in maniera notevole all'incremento del numero degli edifici in legno nelle nuove costruzioni, è l'evoluzione delle tecniche costruttive, in particolare di quella a pannelli di tavole incrociate (CLT o XLam), che ha permesso di realizzare edifici pluriplano fino a 9 piani e di progettarne altri fino a 34 piani. Anche nel caso del legno, come è avvenuto per gli altri materiali, acciaio e cemento armato, l'evoluzione delle tecniche costruttive sta permettendo di costruire edifici sempre più alti.

Altro aspetto rilevante che gioca a favore della diffusione delle costruzioni in legno è la certezza del costo di costruzione. Ad esempio, la rapidità di esecuzione (4-5 mesi per una villetta di 200 mq) consente infatti di rispettare i costi preventivati senza ulteriori aggravi per la revisione dei prezzi.

I sistemi utilizzati oggi in Italia sono: il sistema a pannelli massicci di tavole incrociate (XLam), il sistema a pannelli intelaiati (sistema a telaio), il blockbau e il sistema a travi e pilastri (Figura 1.16).

Dalle ultime statistiche è emerso che i sistemi più usati sono quelli a pannelli XLam e a te-

laio, 45% della quota di mercato ciascuno, mente il blockbau ha un utilizzo che non supera il 10% [1]. Nelle statistiche non è specificato se il sistema a telaio è riferito al sistema a pannelli intelaiati o a quello a scheletro portante che costruttivamente hanno problematiche termiche ed acustiche simili.

L'attuale sistema a pannelli intelaiati è una diretta derivazione del *platform frame* di cui ha le caratteristiche "genetiche". I pannelli sono realizzati con un telaio leggero fatto di segati che ingloba l'isolante ed è finito sulle due facce con lastre di compensato, OSB, MDF ecc (Figura 1.17). Rispetto al *platform frame* sono cambiate le modalità di assemblaggio degli elementi costruttivi base. Mentre per quest'ultimo il montaggio era fatto in opera negli ultimi anni, con l'evolversi dei mezzi meccanici per la movimentazione, si è assistito ad un progressivo trasferimento dei cicli del cantiere tradizionale dal luogo dell'edificazione allo stabilimento più o meno industrializzato. Le modalità costruttive sono semplici. I segati vengono assemblati su un banco di lavoro e solidarizzati con viti, graffe o cambrette. Una volta posta la prima lastra di tamponamento, si inserisce il materiale isolante, in genere pannelli rigidi in fibra minerale o naturale, quindi si pone la seconda lastra di chiusura.

A seconda delle finalità e del grado di prefabbricazione che si vuole raggiungere, il pannello intelaiato può essere attrezzato con gli impianti e parzialmente o totalmente finito con serramenti e finiture interne ed esterne (Figura 1.18). Spesso questi pannelli, proprio perché sono al loro interno intelaiati e quindi hanno una precisa configurazione, sono attrezzati agli impianti, nel senso che hanno al loro interno le canalizzazioni nelle quali, una volta avvenuta la correlazione, passeranno le reti impiantistiche. I pannelli vengono poi stoccati, successivamente portati in cantiere e posti in opera.

Altro sistema costruttivo molto diffuso oggi in Italia, è l'XLam. In questo caso l'elemento costruttivo base, il pannello, è ottenuto sovrapponendo in maniera incrociata tre o più strati di tavole tra loro collegate con colla, chiodi di alluminio, perni lignei lisci o filettati. La correlazione con gli altri elementi avviene attraverso squadrette metalliche, viti, ganci o giunti scorporati a coda di rondine. I pannelli possono essere lasciati a vista, intonacati, rivestiti con qualsiasi materiale posto direttamente a contatto o su una griglia di supporto (Figura 1.19). Fatto rilevante è la versatilità di questi sistemi costruttivi facilmente integrabili anche con altri materiali da costruzione. Le buone capacità portanti di questi pannelli consentono anche di costruire edifici di una certa altezza, come detto precedentemente.

Il nuovo blockbau si riferisce in maniera evidente al sistema tradizionale a tronchi sovrapposti (Figura 1.20). La variante e l'innovazione sono date dall'uso delle macchine a controllo numerico e dal tipo di legno usato che, in generale, è "composto" o, come si dice oggi con un termine di derivazione inglese, "ingegnerizzato". L'elemento costruttivo non è più massello, ma è ottenuto con l'incollaggio di due, tre o più segati; esempi in tal senso sono il bi-lama e il tri-lama. Le macchine a controllo numerico consentono, poi, di fare giunti e nodi raffinati e precisi che richiedono, in fase di costruzione, solo operazioni di montaggio e di giustapposizione senza ulteriori aggiustamenti. Gli elementi sono lavorati al bordo in

Figura 1.18 - Montaggio pannello intelaiato prefabbricato (Norvegia).

Figura 1.19 - Montaggio di pannelli XLam (Italia).

Figura 1.20 - Montaggio di elementi nuovo blockbau (Russia).

Figura 1.21 - Esempi di elementi costruttivi realizzati con macchina a controllo numerico.

Figura 1.22 - Edificio con sistema costruttivo a travi e pilastri in fase di costruzione.

modo da combaciare (Figura 1.21) l'uno con l'altro e consentono di erigere l'organismo edilizio con estrema facilità, senza però quella flessibilità costruttiva riscontrabile nei sistemi a pannelli portanti intelaiati o a tavole incrociate.

Il sistema costruttivo a travi e pilastri è basato sull'uso di elementi costruttivi funzionali in legno massello o lamellare che costituiscono l'ossatura portante dell'edificio (Figura 1.22). La tamponatura delle maglie dello scheletro è realizzata con differenti sistemi che possono prevedere la realizzazione in opera o l'impiego di pannelli preassemblati in officina. Il sistema, al contrario di quelli a pannelli, permette una grande flessibilità d'uso dell'edificio, in quanto la puntualità degli elementi portanti consente la massima fruizione dello spazio e quindi la massima libertà nel posizionamento delle pareti interne in genere realizzate in cartongesso o pannelli di legno.

CAPITOLO 2
Comfort e sicurezza

2.1 Premessa

Quando si costruisce un edificio, lo si deve realizzare in modo che sia confortevole e sicuro, ovvero che soddisfi i requisiti termo-igrometrici, acustici, di sicurezza statica e al contempo garantisca la sicurezza in caso di eventi eccezionali come il sisma e l'incendio.

In un edificio in legno per raggiungere condizioni tali da soddisfare questi requisiti bisogna tenere in giusto conto le specificità caratterizzanti e cioè leggerezza del materiale e tecnica realizzativa a secco. La leggerezza implica l'insorgere di problematiche relative al comfort termo-igrometrico in termini di isolamento termico e di sfasamento dell'onda termica. La tecnica realizzativa a secco impone di porre attenzione alla tenuta all'aria e all'isolamento acustico. Per quanto riguarda la sicurezza, un edificio in legno, se ben progettato, ha un ottimo comportamento sia in caso di sisma che di incendio.

2.2 Comfort termo-igrometrico

Negli ultimi anni la tendenza a scegliere edifici ad elevata prestazione termica ha portato a riconsiderare l'uso del legno in edilizia per le possibilità di coniugare un'elevata prefabbricazione con ottime prestazioni termiche ed elevate qualità sia prestazionali che estetiche. Inoltre gli edifici in legno riescono ad ottenere valori di trasmittanza decisamente inferiori rispetto a pareti in laterizio, occupando circa la metà dello spazio richiesto da queste ultime a parità di prestazione.

Un edificio ben progettato e realizzato è quello che deve saper coniugare un buon comportamento termico invernale con il comfort termico estivo. Per ottenere le prestazioni richieste assumono rilevanza la conduttività dei materiali, la trasmittanza termica periodica, la costante di tempo e lo sfasamento.

Per quanto riguarda la conduttività termica λ, il legno in quanto materiale da costruzione presenta già di per sé un buon valore, se confrontato con altri materiali con caratteristiche portanti (Grafico 2.1).

La conduttività di un materiale e di conseguenza la trasmittanza termica di un pacchetto di frontiera non sono però esaustive ai fini della determinazione del comfort ambientale in regime estivo. Per il rispetto delle prescrizioni dettate a riguardo dal Decreto legislativo 29/12/06 n.311 e ss. mm., si deve garantire che il valore della massa superficiale Ms delle pareti opache verticali, orizzontali o inclinate sia maggiore di 230 kg/m². Lasciando da parte le considerazioni circa l'efficacia di un indicatore così poco raffinato, trattando in

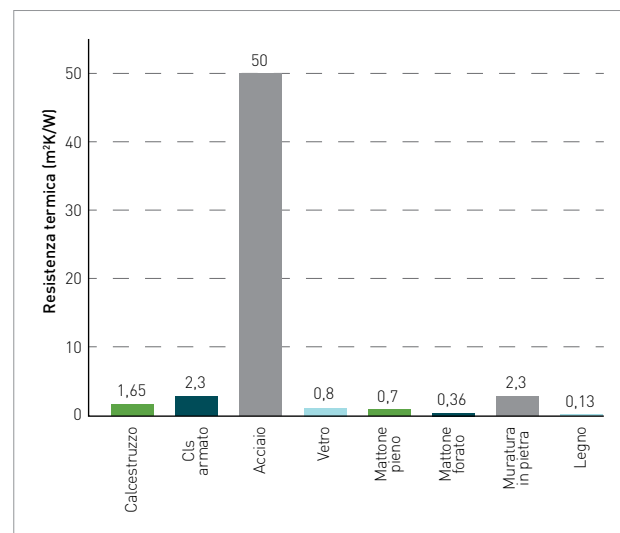



Grafico 2.1 - Confronto fra valori di resistenza termica di alcuni materiali edili da costruzione.

questo capitolo strutture che, dato il basso peso specifico del legno, difficilmente superano i 90-100 kg/m^2 è necessario focalizzare l'attenzione sulla verifica di altri parametri. Un'informazione importante nel caso di un edificio in legno viene dalla determinazione della *costante di tempo* τ che consente di valutare la capacità della parete di smorzare e ritardare l'escursione termica esterna. Questo parametro, che corrisponde al prodotto della diffusività termica per il quadrato dello spessore, può essere calcolato come segue:

$$\tau = R_t \cdot C_t = \frac{C_t}{U}$$

con $C_t = \sum_1^n \rho_k \cdot c_i \cdot \ d_i \quad [\frac{J}{m^2K}]$, dove ρ_k è la densità,
c_i è la capacità termica specifica del solo lato interno
e d_i è lo spessore dello strato i-esimo.

La formula evidenzia che al diminuire della massa la capacità termica C diminuisce e, a parità di resistenza termica R, anche τ. Un edificio con poca massa, quindi, solitamente ha oscillazioni termiche maggiori di uno con maggiore massa. Questo significa che d'estate si avranno temperature massime più alte all'interno dell'edificio. Dall'analisi della costante di tempo, si può evincere però che con pareti in legno e strati di isolante si possono ottenere condizioni di comfort ugualmente positive, se non addirittura migliori, rispetto a pareti costituite da altri materiali. Questo è possibile poiché il legno possiede un maggior valore di calore specifico ed un'elevata resistenza termica, che compensano la massa ridotta. In sintesi, quanto maggiore è la costante di tempo tanto minori sono le oscillazioni termiche interne e questo migliora il comportamento termico dello stesso. Si può perciò affermare che l'utilizzo del legno determina buoni effetti di smorzamento, pur avendo massa superficiale minore di 230 kg/m^3.

Gli altri parametri da verificare ai fini dello studio del comportamento in regime estivo sono la trasmittanza termica periodica, lo sfasamento e l'attenuazione. A tal riguardo, la norma prescrive delle prestazioni limite:

- relativamente a tutte le pareti verticali opache, con eccezioni [2], il valore del modulo della trasmittanza termica periodica (Yie) sia inferiore a 0,12 W/m^{2}K;
- relativamente a tutte le pareti opache orizzontali ed inclinate il valore del modulo della trasmittanza termica periodica (Yie) sia inferiore a 0,20 W/m^{2}K.

Dal momento che la copertura di un edificio è maggiormente sollecitata dall'insolazione, è buona norma tendere a progettare strutture verticali e di copertura che raggiungano un Yie=0,12 W/m^{2}K.

Gli altri limiti proposti dalla normativa, la cui ottemperanza non è obbligatoria, riguardano lo sfasamento e l'attenuazione. Questi limiti si possono trovare nell'allegato A del DM 26/06/2009 "*Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*" (Tabella 2.1).

Sfasamento (h)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità
S>12	$f_a<0,15$	Ottime	I
12>S>10	$0,15<f_a<0,30$	Buone	II
10>S>8	$0,30<f_a<0,40$	Medie	III
8>S>6	$0,40<f_a<0,60$	Sufficienti	IV
S<6	$f_a>0,60$	Mediocri	V

Tabella 2.1

Nel caso in cui la coppia di parametri non rientri coerentemente negli intervalli fissati in tabella, la norma prescrive che, ai fini della classificazione, prevalga il valore di sfasamento. Nonostante infatti sia molto importante che l'involucro attenui l'onda termica entrante, è fondamentale che l'innalzamento della temperatura superficiale interna della parete si manifesti in prossimità delle ore di bassa insolazione, quando si può sfruttare la ventilazione naturale per il raffrescamento. Ad esempio, il Protocollo ITACA ritiene "meritevole" uno sfasamento uguale o superiore alle 9 ore.

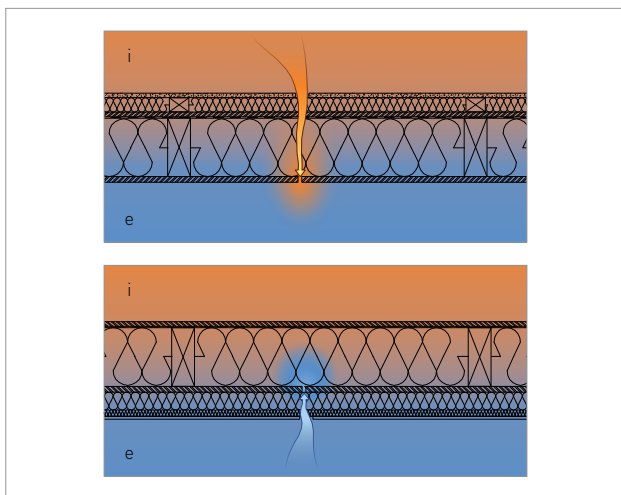



Figura 2.1 - Fughe d'aria verso l'esterno possono causare perdite di calore, in alto; infiltrazioni d'aria dall'esterno possono causare raffreddamenti localizzati e fenomeni di condensa, in basso.

2.3 Tenuta all'aria e al vento

Nelle costruzioni a secco, come quelle in legno, assume rilevanza la tenuta all'aria e al vento, intendendo per la prima la necessità di impedire fughe dall'ambiente interno verso l'esterno, e per la seconda l'ingresso d'aria dall'esterno (Figura 2.1). Questa ricercata ermeticità è finalizzata ad evitare dispersioni termiche dell'edificio, la possibile formazione di condensa localizzata nella costruzione e ponti acustici. Di conseguenza il livello di tenuta ha effetti diretti sulla durata della costruzione, sul comfort termico degli utenti e sul consumo energetico. Nel caso in cui non venga posta attenzione alla tenuta all'aria e al vento si determinerebbe la situazione paradossale di avere un edificio ben isolato ma poco efficiente, con un conseguente duplice impegno economico.

L'ermeticità all'aria di un involucro si ottiene con uno strato a tenuta che impedisce la corrente d'aria dall'interno verso l'esterno, situato normalmente sul lato interno della stratigrafia della parete. Tale strato può anche assumere la funzione di controllo del vapore. Eventualità che si presenta soprattutto nel sistema costruttivo a pannelli intelaiati e si ottiene con l'utilizzo di un telo che, per le proprie caratteristiche intrinseche, svolge entrambe le funzioni, di tenuta all'aria e controllo al vapore. Tale telo viene inserito, in fase di produzione del pannello, fra la struttura in legno e la lastra di chiusura interna (Figura 2.2).

Figura 2.2 - Posizionamento dei teli di tenuta al vento (esterno) e all'aria in un pannello intelaiato di parete.

Telo di tenuta all'aria

Evita la fuoriuscita di aria dall'ambiente riscaldato e si posiziona sul lato caldo di pareti e tetti.

Quando funge anche da controllo del vapore possiede le seguenti caratteristiche:

S_d = 1-5m

ρ = 90-200g/m^2

Teli traspiranti antivento

S_d = 0,02-0,1 m

ρ = 90-200 g/m^2

Garantiscono l'impermeabilità al vento e si posizionano sul lato esterno di pareti e tetti .

Per pareti ventilate devono essere utilizzati teli resistenti ai raggi UV con appositi nastri di giunzione.

La coincidenza tra lo strato di tenuta all'aria e quello di controllo del vapore avviene anche in copertura dove il doppio ruolo è svolto solitamente da un telo posto sopra il tavolato.

Teli o guaine a tenuta d'aria sono composti per esempio di bitume, materiali sintetici, carta ecc. e i giunti vengono sigillati con nastri monoadesivi o nastri espandenti.

Particolare attenzione va prestata ai tipici punti deboli della tenuta all'aria, ovvero laddove il telo viene perforato o interrotto, ad esempio nelle giunzioni fra pareti esterne e pareti interne, solai e tetti, o in corrispondenza di finestre, lucernari, prese elettriche, interruttori, condutture.

Al fine della tenuta al vento, lo strato esterno del sistema di frontiera deve garantire l'impermeabilità al vento e al contempo assicurare la traspirabilità al vapore della parete, per cui la caratteristica peculiare è un valore dello spessore dello strato d'aria equivalente (S_d) molto basso. Sul lato esterno dell'involucro è da valutare la necessità dell'utilizzo di un elemento impermeabile e traspirante posizionato con continuità. Nel caso di sistemi a cappotto, vista la presenza dell'intonaco, è la rasatura esterna che di per sé garantisce la continuità materica dell'involucro.

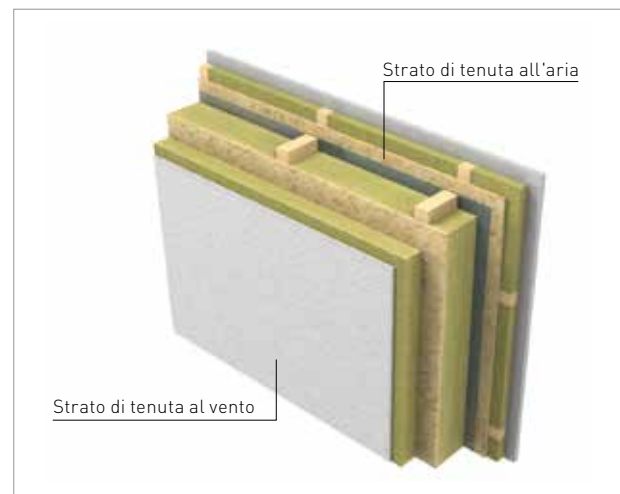



Figura 2.3 - Nella parete intelaiata intonacata la tenuta al vento è garantita dalla rasatura esterna del cappotto mentre la tenuta all'aria viene effettuata nastrando i giunti tra le lastre di chiusura interne o inserendo un telo tra esse e l'isolamento in intercapedine del pannello intelaiato;

Figura 2.4 - In una copertura inclinata con travi a vista la tenuta al vento è garantita dal telo di tenuta all'acqua sottomanto traspirante mentre la tenuta all'aria viene effettuata inserendo un telo sopra il tavolato che, solitamente, ha funzione anche di controllo del vapore.

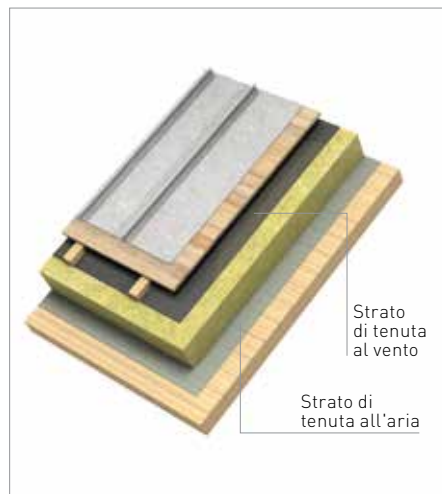



Figura 2.5 - In una copertura inclinata a pannelli XLam la tenuta al vento è garantita dal telo sottomanto impermeabile traspirante mentre la tenuta all'aria viene garantita inserendo un telo sopra il pannello portante.

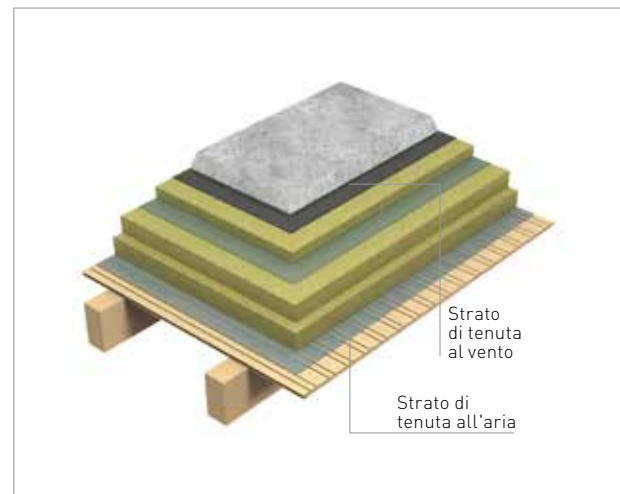



Figura 2.6 - In una copertura piana a travi a vista la tenuta al vento è garantita dal telo di tenuta all'acqua posto sopra il massetto di pendenza mentre la tenuta all'aria viene assicurata inserendo un telo sopra il tavolato.

Figura 2.7

Per valutare l'effettivo livello di tenuta raggiunto è consigliato effettuare un test specifico, il *blower door test* (Figura 2.7). Attraverso un idoneo ventilatore l'aria viene immessa o aspirata nell'edificio oggetto della prova. L'intensità del ventilatore viene controllata in modo che tra la pressione interna e quella esterna vi sia una differenza prestabilita. Di conseguenza si induce un flusso d'aria che compensa le "perdite" di differenza di pressione dovute alle infiltrazioni. Il flusso d'aria misurato viene diviso per il volume dell'edificio. Questo strumento diagnostico permette di scoprire "le perdite d'aria" dell'involucro edilizio e di valutare il flusso di ricambio dell'aria.

L'ermeticità all'aria di un elemento costruttivo o dell'intero edificio è una grandezza misurabile attraverso il tasso di ricambio dell'aria, n_{50}. Esso indica la quantità di aria all'ora [m^3/h] che, ad una differenza di pressione di 50 Pa, passa attraverso l'elemento considerato.

Valori di n_{50} ricorrenti si aggirano attorno a ricambi d'aria di 3,0 h^{-1}. Per ottenere prestazioni migliori ed edifici a basso consumo energetico bisogna raggiungere valori inferiori, 2,0 h^{-1}, o addirittura, nel caso di edifici passivi, 0,6 h^{-1}.

2.4 Isolamento acustico

La leggerezza del materiale, dato il suo basso peso specifico, influenza molti degli aspetti legati alla progettazione degli edifici, tra cui l'isolamento acustico. Le differenze costrutive degli edifici in legno rispetto a quelli in acciaio, c.a. o muratura impongono una particolare attenzione sia in fase di progettazione che in fase di posa in opera. In particolare l'elevato grado di prefabbricazione rende necessaria una progettazione acustica integrata dell'edificio sin dalla sua concezione ed, inoltre, deve essere posta una certa attenzione durante la messa in opera del manufatto.

2.4.1 Isolamento acustico per rumori aerei

La trasmissione del suono o dei rumori per via aerea avviene quando il rumore (voce, tv, ecc.) si propaga nell'aria dall'ambiente disturbante all'ambiente disturbato (ricevente) attraversando gli elementi divisori.

In accordo con la legge di massa l'isolamento dei suoni trasmessi per via aerea può essere approssimativamente trovato con l'equazione

$$R'_d = 20 \log\ (M \cdot f) - 49 \quad [dB]$$

dove R'_d è l'indice di riduzione sonora della struttura o potere fonoisolante,
M la massa frontale della parete in kg/m^2
e f la frequenza in Hz.

Si deduce che il potere fonoisolante, che è inversamente proporzionale alla trasmissione sonora, è direttamente proporzionale a massa e frequenza.

Il potere fonoisolante di un singolo componente è quindi funzione di tre grandezze: massa, elasticità e smorzamento. Al di sotto di una frequenza f_0, detta di risonanza fondamentale, l'isolamento e il potere fonoisolante raggiungono un valore minimo per effetto del fenomeno di risonanza. Quando una struttura viene sollecitata con questa frequenza, la quantità di energia necessaria a mantenerla in vibrazione diminuisce, poiché la struttura tende a vibrare naturalmente, quindi con più facilità. È importante che tale frequenza risulti inferiore all'intervallo di 100 – 3150 Hz [3].

Per frequenze superiori, la parete mostra le sue proprietà di massa e l'andamento dell'isolamento segue la legge della massa, crescendo all'aumentare della frequenza. Eppure l'esperienza reale insegna che in alcuni casi percepiamo al di là di un muro anche delle frequenze medie, ad esempio voci. Esiste, infatti, un altro fenomeno acustico responsabile di una drastica riduzione dell'isolamento che interviene ad una frequenza, detta frequenza di coincidenza f_c, superiore a quella di risonanza: è l'effetto coincidenza, che segna il termine della legge della massa al crescere della frequenza (Figura 2.8).

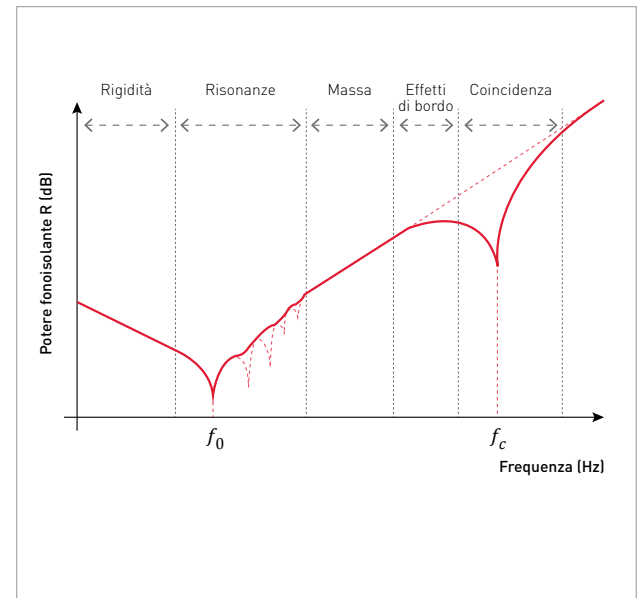



Figura 2.8 - Andamento del potere fonoisolante in relazione alla frequenza: si può notare la frequenza di risonanza fondamentale f_0 e quella di coincidenza f_c.

La coincidenza ha luogo quando l'onda sonora che incide sulla superficie e l'onda flessionale all'interno del pannello stesso viaggiano con la medesima velocità. Durante la propagazione del suono la situazione rimane la stessa per tutto il tempo ed il pannello non isola efficacemente come ci si potrebbe aspettare. L'isolamento dipende quindi principalmente dal meccanismo di perdita energetica del pannello e della struttura.

Ogni pannello ha una frequenza di coincidenza f_c che dovrebbe essere anch'esso superiore all'intervallo 100- 3150 Hz. La frequenza di coincidenza di una struttura semplice può essere determinata dall'equazione:

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi h}\sqrt{\frac{12\rho\,(1-\mu^2)}{E}}$$

dove f_c è la frequenza di coincidenza [Hz],
c la velocità del suono nell'aria (circa 340 m/s),
h lo spessore della struttura [m],
ρ la densità della struttura [kg/m^3],
μ il coefficiente di Poisson, pari a 0.3,
ed E il modulo di elasticità [N/m^2].

Se la struttura è formata da più strati di pannelli non incollati fra loro, cosa preferibile dal punto di vista acustico, f_c si determina per ogni strato separatamente.

Risulta difficile soddisfare i requisiti di isolamento acustico definiti dal DPCM 05/12/1997 (vedi Box 1), utilizzando solo la massa delle strutture in legno. Un pannello a 3 strati in XLam spesso 85mm, ad esempio, raggiunge un valore fonoisolante nell'ordine di 30 dB, mentre uno a 5 strati di spessore 135 mm raggiunge i 36 dB[1].

Nel campo di validità della legge di massa il potere fonoisolante di elementi omogenei aumenta di soli 6 dB al raddoppio della massa superficiale. L'incremento di massa non rappresenta, nella maggior parte dei casi, e soprattutto negli edifici in legno, un metodo tecnologicamente attuabile ed economicamente vantaggioso per conseguire elevati valori del potere fonoisolante.

Poichè 50 dB è il valore minimo di potere fonoisolante richiesto per una partizione fra diverse unità immobiliari, nel caso di edifici residenziali, è necessario quindi che il legno venga accostato con altri materiali che contribuiscano al miglioramento delle prestazioni.

1 *Dati da test acustici condotti da diversi produttori*

Box 1 - Requisiti acustici passivi

Categoria	Descrizione
A	Edifici adibiti a residenza o assimilabili
B	Edifici adibiti ad uffici o assimilabili
C	Edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili
D	Edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura, …
E	Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli o assimilabili
F	Edifici adibiti ad ricreative o di culto o assimilabili
G	Edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili

Standard minimi richiesti dal DPCM 05/12/1997 per l'isolamento aereo tra unità immobiliari, il livello di rumore di calpestio e l'isolamento acustico di facciata:

Categorie	R'_w	$D_{2m,nT,w}$	$L'_{n,w}$
D	55	45	58
A,C	50	40	63
E	50	48	58
B, F, G	50	42	55

dove **R'_w** Indice di potere fonoisolante apparente di partizione tra unità immobiliari adiacenti.
$D_{2m,nT,w}$ Indice dell'isolamento acustico di facciata, normalizzato rispetto al tempo di riverbero.
$L'_{n,w}$ Indice del livello di rumore di calpestio dei solai, normalizzato rispetto all'assorbimento acustico.

A questo decreto si aggiunge la norma UNI 11367 "*Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari - Procedura di valutazione e verifica in opera*" per la classificazione acustica degli edifici (esclusi scuole e ospedali). Questa norma, che costituirà la base per la riscrittura della legge attuale, prevede delle classi prestazionali dei vari parametri.

Classi	Prestazioni*	R'_w	$D_{2m,nT,w}$	$L'_{n,w}$
I	Molto buone	≥ 53	≥ 56	≤ 53
II	Buone	≥ 40	≥ 53	≤ 58
III	Di base	≥ 37	≥ 50	≤ 63
IV	Modeste	≥ 32	≥ 45	≤ 68

**eccetto per quanto riguarda l'indice D2m,nT,w, per il quale le prestazioni vengono definite in base alla tipologia dell'area*

Attualmente la UNI 11367 non è richiamata in alcun documento legislativo. Pertanto l'applicazione delle classi acustiche, sulla base dei risultati di misure fonometriche eseguite sull'edificio, è volontaria.

Risultano così pacchetti di parete costituiti da una stratificazione di materiali diversi, alcuni rigidi e pesanti con interposti materiali aventi funzione elastico-smorzante. Tale situazione si basa sul principio per cui, quando il suono si propaga in un mezzo e ne incontra un altro di caratteristiche diverse, il secondo oppone resistenza al passaggio delle onde. Come si vede dalla tabella 2.2 sottostante relativa ad un sistema di facciata [4], risolutiva importanza possiede il rivestimento, il materiale fibroso utilizzato, lo spessore e la modalità di fissaggio della controparete.

Costruzione	Incremento
Rivestimento con una lastra di cartongesso di spessore 12,5 mm	0-1 dB
Rivestimento con doppia lastra di cartongesso di spessore 12,5 mm	1-2 dB
Controparete coibentata con lana minerale, montata direttamente sul pannello XLam e rivestita con lastra di cartongesso di spessore 12,5 mm	< 6 dB
Controparete coibentata con lana minerale, montata sul pannello XLam con interposizione di materiali resilienti e rivestita con lastra di cartongesso di spessore 12,5 mm	< 15 dB
Controparete coibentata, completamente disaccoppiata dal pannello XLam: intercapedine 85 mm, con lana minerale ≥ 50 mm e rivestimento con lastra di cartongesso di spessore 12,5 mm	< 22 dB
Controparete coibentata, completamente disaccoppiata dal pannello XLam: intercapedine 85 mm, con lana minerale ≥ 50 mm e rivestimento con doppia lastra di cartongesso di spessore 2x12,5 mm	< 23 dB

Tabella 2.2

A titolo esemplificativo, si riportano i risultati di un test condotto su una stratigrafia di parete in XLam composta da un pacchetto a più strati, come quella rappresentata in figura 2.9, eseguito in laboratorio in accordo con le norme UNI EN ISO delle serie 140 e 717-1 [5]. Sul lato esterno è stato applicato un isolamento a cappotto con isolante in lana di roccia, mentre sul lato interno una controparete con struttura autoportante metallica isolata con pannelli in lana di roccia, rivestita con pannelli di rivestimento in gesso rivestito e gesso-fibra in cui è stata inserita una scatola per interruttori.

La parete ha presentato un indice di potere fonoisolante R_w = 65 dB (Figura 2.10).

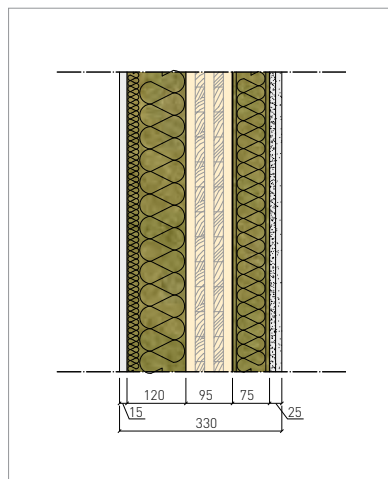



Figura 2.9 - Stratigrafia della parete sottoposta al test.

Freq. [Hz]	R [dB]
100	39,2
125	42,1
160	47,0
200	55,2
250	59,0
315	61,6
400	65,0
500	64,7
630	66,5
800	69,0
1000	70,7
1250	69,2
1600	68,9
2000	68,3
2500	65,2
3150	62,2
4000	65,6
5000	67,2

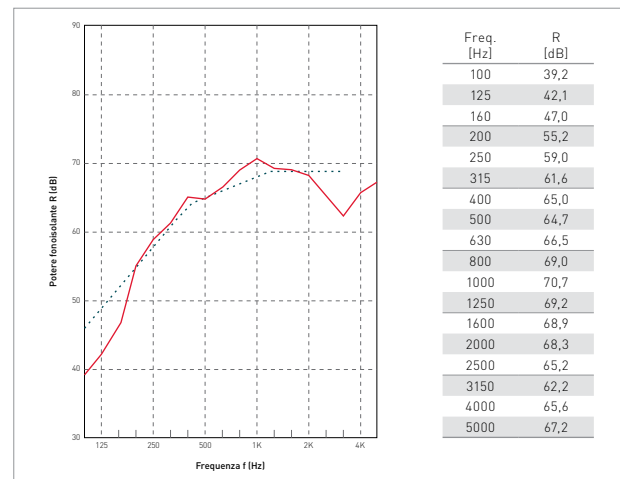



Figura 2.10 - Esito del test condotto sulla parete di figura 2.9.

Un test analogo è stato poi condotto su una stratigrafia di parete intelaiata composta da un pacchetto a più strati, come quella rappresentata in figura 2.11 [6]. La parete è composta da un telaio strutturale in legno massiccio e coibentata in intercapedine con pannelli di lana di roccia. Sul lato esterno è stato applicato un isolamento a cappotto con isolante in lana di roccia, mentre sul lato interno una controparete con struttura autoportante metallica isolata con pannelli in lana di roccia, rivestita con pannelli di rivestimento in gesso rivestito e gesso-fibra in cui è stata inserita una scatola per interruttori.

La parete ha presentato un indice di potere fonoisolante R_w = 62 dB (Figura 2.12).

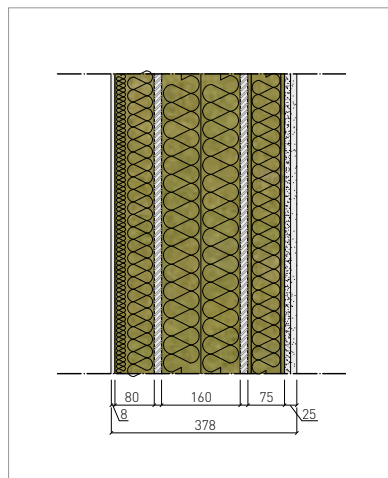



Figura 2.11 - Stratigrafia della parete sottoposta al test.

Freq. [Hz]	R [dB]
100	29,9
125	38,4
160	47,5
200	57,4
250	58,8
315	61,6
400	63,5
500	64,9
630	67,1
800	68,9
1000	71,1
1250	70,8
1600	69,4
2000	68,0
2500	64,2
3150	61,9
4000	66,2
5000	67,3

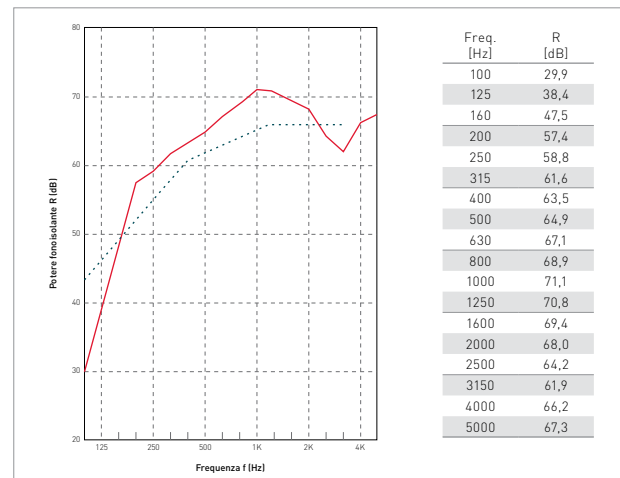



Figura 2.12 - Esito del test condotto sulla parete di figura 2.11.

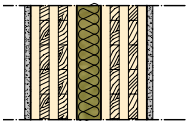
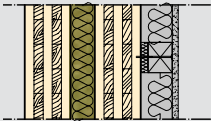
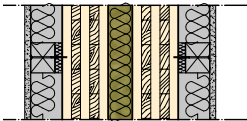
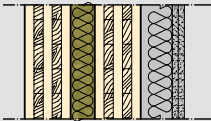
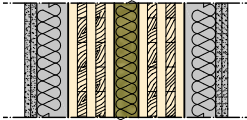
Per quanto riguarda le pareti di separazione tra due unità abitative esse vengono realizzate in modo da separare e rendere indipendenti le due strutture. In genere, queste pareti sono realizzate attraverso una doppia struttura portante con interposto un materiale isolante fibroso. Anche per le pareti divisorie, come si vede dalla tabella 2.3 sottostante, risulta di fondamentale importanza la realizzazione del rivestimento, il materiale fibroso utilizzato, lo spessore e la modalità di fissaggio della controparete [4].

	Costruzione	Incremento
	Rivestimento con una lastra di cartongesso di spessore 12,5 mm	1 dB
	Controparete su un lato, coibentata con lana minerale, montata sul pannello XLam con interposizione di materiali resilienti e rivestita con lastra di cartongesso di spessore 12,5 mm	< 7 dB
	Controparete su entrambi i lati, coibentata con lana minerale, montata sul pannello XLam con interposizione di materiali resilienti e rivestita con lastra di cartongesso di spessore 12,5 mm	< 10 dB
	Controparete coibentata su un lato, completamente disaccoppiata dal pannello XLam: intercapedine 85 mm, con lana minerale ≥ 50 mm e rivestimento con doppia lastra di cartongesso di spessore 2x12,5 mm	< 11 dB
	Controparete coibentata su entrambi i lati, completamente disaccoppiata dal pannello XLam: intercapedine 85 mm, con lana minerale ≥ 50 mm e rivestimento con doppia lastra di cartongesso di spessore 2x12,5 mm	< 15 dB

Tabella 2.3

Per le pareti strutturali interne vale analogo discorso: notevole importanza viene assunta dal rivestimento, dalla modalità di controparete e dal materiale con cui viene coibentata. Si cita, a titolo di esempio, una misurazione effettuata in opera su una parete realizzata come rappresentato in figura 2.13 che ha ottenuto un valore di R'_w = 64 db [7][8].

Per il sistema blockbau, data la discontinuità che si può determinare fra gli elementi costruttivi, derivante dal montaggio a secco, è necessaria, al fine di garantire l'isolamento acustico, l'interposizione di nastri resilienti lungo le linee di contatto che possano garantire l'ermeticità anche in caso di variazione dimensionale degli elementi costruttivi stessi, a causa del ritiro naturale.

Il potere fonoisolante di un setto blockbau si aggira attorno al valore di R'_w = 32 dB per elementi di spessore di 80 mm, R'_w = 35 dB e R'_w = 38 dB per elementi di spessore pari a, rispettivamente, 100 mm e 120 mm. Si evidenzia, quindi, quanto siano importanti il rivestimento, il materiale fibroso utilizzato e lo spessore della controparete. Ovviamente il potere fonoisolante aumenta all'aumentare dello spessore come nel caso della doppia parete, dove il comportamento massa-molla-massa, generato dall'accostamento dei due setti rigidi e pesanti con il materiale in intercapedine avente funzione elastico-smorzante, garantisce un buon isolamento acustico.

Quanto detto si riferisce a valutazioni inerenti il potere fonoisolante della stratificazione senza tener conto delle trasmissioni laterali che si verificano in opera. Le misurazioni di laboratorio dell'isolamento acustico di pareti, solai, e serramenti sono superiori a quelle ottenibili in opera, a causa della forte influenza della posa in opera degli elementi. Quando l'elemento costruttivo è parte di un componente e questo è inserito nel sistema di chiusure esterne, l'abbattimento acustico che è in grado di realizzare è sicuramente minore se le correlazioni con gli altri elementi non sono realizzate a regola d'arte, ovvero non è garantita una continuità prestazionale.

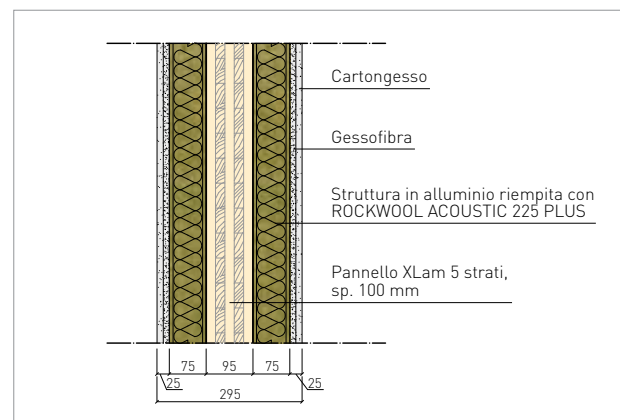



Figura 2.13 - Stratigrafia parete strutturale interna in XLam sottoposta a test in opera.

Fattori che influenzano il potere fonoisolante delle partizioni

- Massa specifica
- Presenza di strati con masse areiche differenti
- Presenza di cavità con materiali fonoassorbenti
- Presenza di fessure e impianti
- Connessioni alle altre strutture

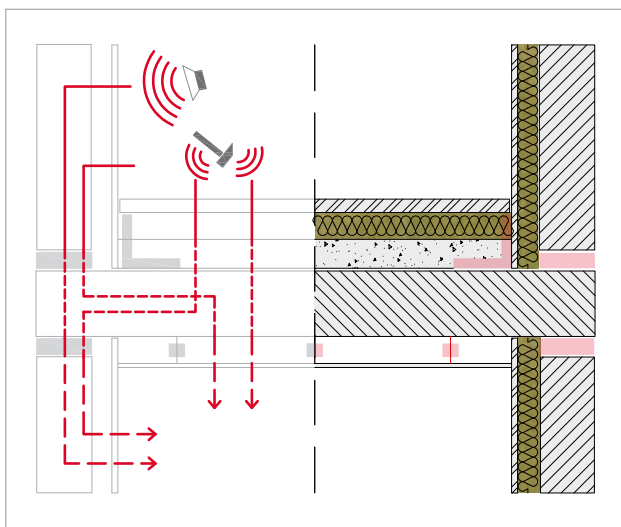



Figura 2.14 - Raffigurazione del percorso di trasmissione del suono in un edificio in pannelli XLam e schematizzazione degli interventi di taglio acustico e desolidarizzazione lungo le linee di propagazione.

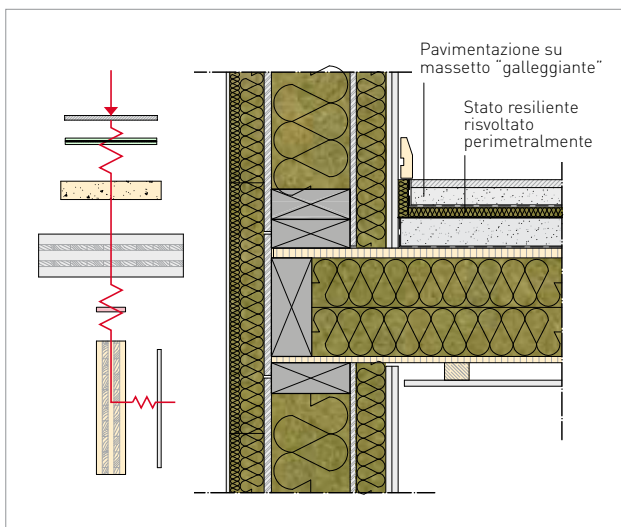



Figura 2.15 - Comportamento massa-molla-massa nella correlazione tra pannelli XLam di solaio e di parete, a sinistra. Applicazione del principio e realizzazione di un pavimento galleggiante, a destra.

2.4.2 Isolamento acustico per rumori impattivi

Oltre che per via aerea, la trasmissione del suono in un edificio avviene per via strutturale: il rumore si propaga dall'ambiente disturbante all'ambiente disturbato attraverso vibrazioni delle strutture, indotte principalmente dal calpestio, dalla caduta di oggetti o vibrazioni di elettrodomestici.

Una corretta azione di protezione dal rumore deve avvenire lungo tutta la via di propagazione del rumore, dalla sorgente al ricettore. Mentre l'isolamento aereo può essere rispettato con la progettazione di stratigrafie divisorie ad alto potere fonoisolante, l'isolamento all'impatto, essendo una trasmissione strutturale, risulta maggiormente difficile da gestire.

La soluzione costruttiva che consente di contrastare efficacemente la trasmissione del suono per vibrazione, consiste nell'interporre tra gli elementi di giunto materiali in grado di smorzare le oscillazioni generate dall'urto (Figura 2.14). Un esempio di materiale resiliente è la lana di roccia che, grazie alle sue caratteristiche di comprimibilità e rigidità dinamica, riduce le vibrazioni e quindi il rumore trasmesso.

Esempio in tal senso è la realizzazione di un solaio e la correlazione con la sottostante parete portante. In questo caso, una soluzione consiste nell'applicazione di un pavimento resiliente in superficie (moquette, gomma, linoleum) che smorza l'energia dell'urto al momento stesso dell'impatto. Tali soluzioni hanno però effetti piuttosto blandi rispetto alla propagazione dei rumori di tipo impattivo. Nel caso in cui il pavimento sia rigido si ricorre alla soluzione cosiddetta a "pavimento galleggiante", interrompendo la continuità della struttura con uno strato resiliente, posto sotto il massetto. Tale strato resiliente dev'essere risvoltato perimetralmente in modo che il pavimento/massetto possa vibrare senza alcun punto di contatto con il solaio e con le pareti, riducendo così la trasmissione laterale e dando luogo a un sistema massa-molla-massa.

Dopo la posa del pavimento occorrerà rifilare la fascia perimetrale o il risvolto del materiale resiliente al livello del pavimento finito e il battiscopa non dovrà risultare in nessun caso a contatto con la pavimentazione, interponendo eventualmente un prodotto siliconico e/o elastico (Figura 2.15).

L'indice del livello di rumore di calpestio dei solai può essere calcolato secondo il metodo approssimato tramite la formula

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_{wH} + K \quad dB$$

dove $L_{n,w,eq}$ è l'intensità sonora trasmessa attraverso il solaio nudo privo di rivestimento,
ΔL_{wH} è la riduzione del livello per presenza di pavimenti galleggianti (dB)
e K è la correzione da apportare per tener conto della trasmissione sonora laterale (dB).

L'attenuazione del pavimento galleggiante si può ricavare dalla formula

$$\Delta L_{wH} = 30\ log\frac{f}{f_0} + 3 \quad dB \quad \text{per massetti tradizionali}$$

$$\Delta L_{wH} = 40\ log\frac{f}{f_0} - 3 \quad dB \quad \text{per massetti a secco}$$

dove f è la frequenza di analisi (solitamente 500 Hz)
e f_0 è la frequenza di risonanza del sistema pavimento galleggiante-solaio (Hz) data dalla relazione

$$f_0 = 160\sqrt{\frac{s'}{m'}}\ Hz$$

A scopo previsionale è quindi utile conoscere i parametri m', ovvero la massa per unità di superficie del pavimento galleggiante, ma soprattutto s' ovvero la rigidità dinamica dello strato resiliente, definita come

$$s' = \frac{E}{d}\ MN/m^3$$

Tale caratteristica propria del materiale resiliente descrive come esso si deforma se sottoposto ad un carico dinamico. La rigidità dinamica è legata quindi alla capacità del materiale di "smorzare" le vibrazioni disperdendo energia. Minore è la rigidità dinamica s' minore sarà la frequenza propria di risonanza f_0 e maggiore l'incremento della capacità di isolamento acustico del pavimento galleggiante ΔL_w.

Da letteratura corrente si evince che le prestazioni di un solaio realizzato con le modalità sopraddette possono essere migliorate con la realizzazione di un controsoffitto fissato in modo elastico all'intradosso della struttura.

Un solaio composto da un pannello portante di spessore pari a 144 mm (Figura 2.16), se abbinato all'applicazione di un controsoffitto acustico all'intradosso e ad una stratigrafia soprastante composta da massetto a secco su strato resiliente (s' = 15 MN/m³) e livellamento per impianti in granulato di marmo, può raggiungere valori (misurati in opera) di $L'_{n,w} \leqslant 42$ dB [10][8].

Un solaio a travi in legno è solitamente composto da una struttura multistrato e il suo comportamento acustico differisce significativamente da quello di un solaio massivo omogeneo. A motivo della sua leggerezza e dei dettagli strutturali, l'isolamento acustico ai rumori impattivi risulta peggiore alle basse frequenze rispetto ad un solaio massivo; al contrario alle alte frequenze il comportamento può essere decisamente migliore.

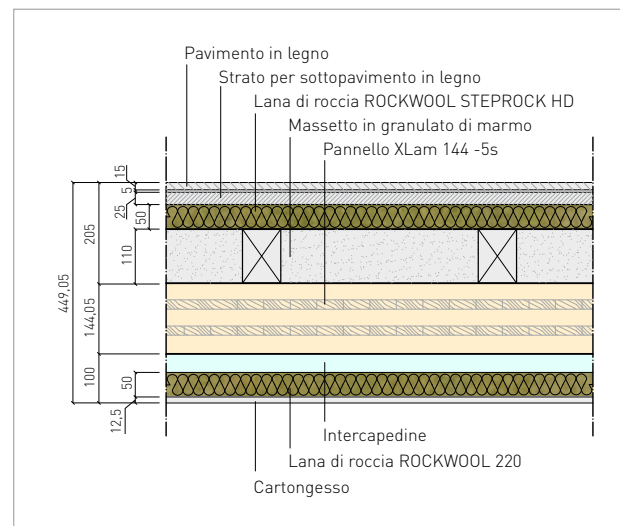



Figura 2.16 - Stratigrafia del solaio in pannelli XLam su cui è stato effettuato il test.

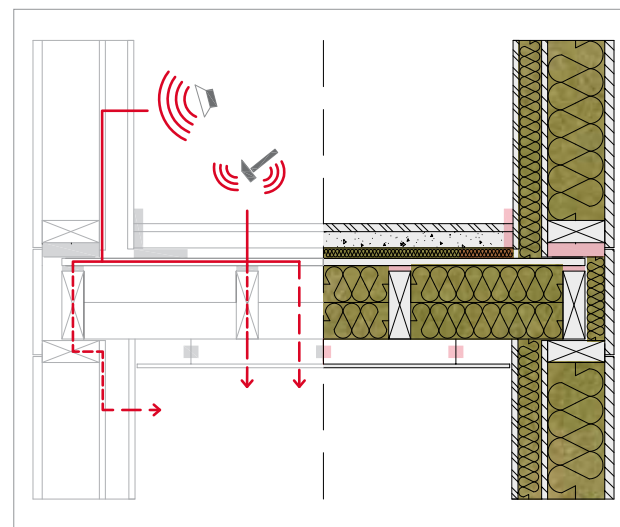



Figura 2.17 - Raffigurazione del percorso di trasmissione del suono in un edificio a pannelli intelaiati e schematizzazione degli interventi di taglio acustico e desolidarizzazione lungo le linee di propagazione.

Nella gamma di frequenze dai 100 Hz in su, i metodi per intervenire nella correzione acustica di un solaio a travi in legno sono analoghi a quelli di solai massivi, come quelli in pannelli XLam, come la realizzazione di un pavimento galleggiante (massetto di pavimentazione su strato resiliente).

Rappresentazione	Descrizione
	a) Il disaccoppiamento del pannello di chiusura superiore dal travetto, attraverso l'interposizione di uno strato intermedio di materiale resiliente a bassa rigidità dinamica,
	b) disaccoppiamento del pannello inferiore dalle travi del soffitto (ad esempio mediante guide a molla),
	c) smorzamento della trasmissione del suono tramite l'interposizione di materiale isolante fonoassorbente nella cavità del soffitto,
	d) aumento della massa con inserimento di uno strato superiore con bassa rigidità alla flessione (ad es. massetto) o di uno strato di appesantimento (ad es. blocchi di mattoni o di calcestruzzo),
	e) applicazione di un controsoffitto fissato in modo elastico all'intradosso dei travetti

Tabella 2.4 - Metodi di miglioramento dell'isolamento acustico di soffitti a travi in legno.

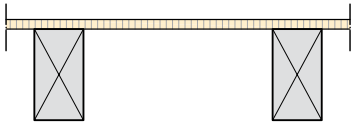
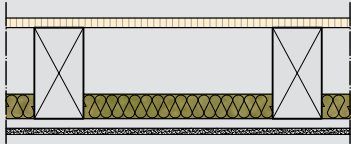
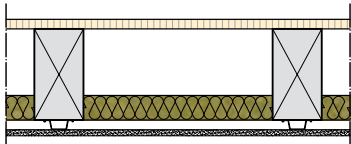
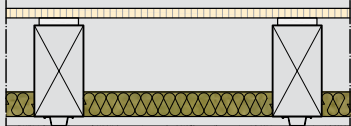
Per calcolare l'indice del livello di rumore di calpestio dei solai a travi di legno si deve conoscere l'intensità sonora trasmessa attraverso il solaio nudo privo di rivestimento $L_{n,w,eq}$ (vedi tabella 2.5 sottostante) e la riduzione del livello per presenza di pavimenti galleggianti ΔL_{wH} (dB) [11].

Rappresentazione	Descrizione	$L_{n,w,eq}$
	Solaio a travi di legno con rivestimento superiore in pannello di particelle in legno di spessore 25 mm	~82 dB
	Solaio a travi di legno con rivestimento superiore in pannello di particelle in legno di spessore 25 mm e rivestimento inferiore con lastra di cartongesso su listelli di legno connessi direttamente alle travi. Nella cavità 50 mm di lana minerale (ca. 40 kg/m³)	~69 dB
	Come sopra, ma il rivestimento all'intradosso è sospeso con connessioni resilienti	~62 dB
	Come sopra, ma con materassini di materiale resiliente interposti fra i travetti e il pannello di rivestimento superiore (disaccoppiamento)	~53 dB

Tabella 2.5

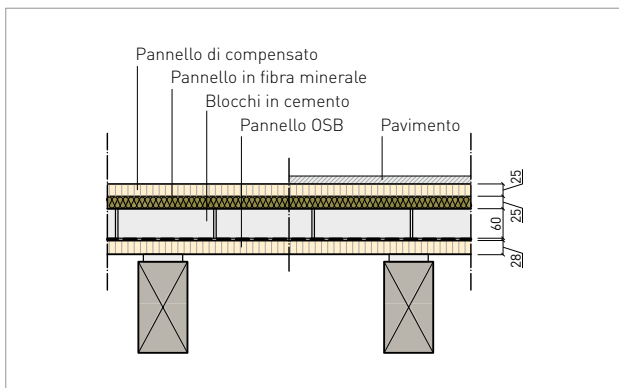



Figura 2.18 - Stratigrafia di solaio a travi a vista.

Figura 2.19 - Interposizione di elementi per il taglio acustico fra pannelli XLam.

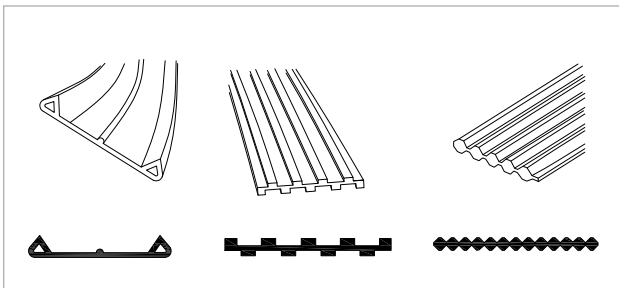



Figura 2.20 - Diversi profili di materassini elastici per il taglio acustico.

La riduzione del livello per presenza di pavimenti galleggianti ΔL_{wH} può essere quantificata in relazione alla massa per unità di superficie del pavimento galleggiante m' e alla rigidità dinamica s' dello strato resiliente.

A titolo esemplificativo, una stratigrafia di solaio a travi a vista, come quello rappresentato in figura 2.18, presenta valori di potere fonoisolante e di indice del livello di rumore di calpestio rispettivamente pari a R'_w=55 dB e $L'_{n,w}$ = 53 dB (senza pavimento) e $L'_{n,w}$= 46 dB (con pavimento) [12].

Per evitare la trasmissione per fiancheggiamento, bisogna effettuare tagli acustici agendo sulle correlazioni fra gli elementi strutturali rigidi costituiti dai pannelli, dalle lastre e dai travetti, desolidarizzandoli attraverso l'utilizzo di materiali resilienti nei giunti di connessione strutturali e non strutturali (nodi solaio/solaio, parete/solaio, parete/parete). Il taglio acustico può essere attuato predisponendo fra le giunzioni nastri di materiale morbido, ad esempio in EPDM o nastri butilici (Figure 2.19).

Nonostante tale accorgimento, potrebbero rimanere ponti acustici in corrispondenza delle connessioni metalliche che possono essere attutiti utilizzando speciali materassini per il taglio acustico degli angolari metallici e viti da legno ottimizzate con cuscinetti elastici (Figura 2.20).

Fattori che influenzano l'isolamento da rumori impattivi

- Presenza di materiali resilienti con elevata resistenza a compressione e modulo di rigidità dinamico molto basso
- Presenza di un sistema massa-molla-massa (pavimento galleggiante)
- Aumento laddove possibile della massa per migliorare il comportamento degli elementi alle basse frequenze

Fattori che influenzano il fiancheggiamento

- Desolidarizzare gli elementi rigidi che potrebbero trasportare il rumore attraverso l'utilizzo di materiali resilienti nei giunti di connessione strutturali e non strutturali
- Realizzare sigillature dei giunti o connessioni con materiali resilienti
- Aumento laddove possibile della massa per migliorare il comportamento degli elementi alle basse frequenze

2.5 Comportamento al fuoco

In un edificio di legno, data la combustibilità del materiale, si deve fare attenzione a prefigurare tutte quelle soluzioni costruttive che possono preservare dall'azione del fuoco al fine di garantire il rispetto dei requisiti normativi con livelli prestazionali paragonabili o superiori agli edifici realizzati con altre tipologie costruttive. Il legno è più resistente al fuoco di quanto comunemente non si creda. Dato il suo contenuto di umidità pari al 12% circa, prima che avvenga la combustione, è necessario che l'acqua contenuta evapori. Il processo di carbonizzazione è molto lento, con velocità comprese in un intervallo di 0,55-1,0 mm/min a seconda della specie legnosa, della densità e del tipo di materiale o prodotto a base di legno. La carbonizzazione della superficie protegge gli strati interni dei pannelli cosicché la struttura collassa con tempi lunghi. La perdita di efficienza di una parete in legno avviene per riduzione della sezione resistente e non per decadimento delle caratteristiche meccaniche. Il legno non carbonizzato rimane efficiente dal punto di vista meccanico fino a quando la sezione si riduce talmente da non poter più assolvere alla sua funzione portante (Figura 2.21).

Figura 2.21 - La carbonizzazione della superficie del legno protegge gli strati interni.

Nei sistemi costruttivi in legno si determina quindi la necessità di adottare misure congrue per garantire il raggiungimento degli obiettivi standard della prevenzione antincendio, ovvero strategie in grado di minimizzare le cause di incendio, di garantire la stabilità delle strutture portanti al fine di assicurare il soccorso agli occupanti, di limitare la produzione e la propagazione di focolai all'interno dei locali e negli edifici e locali attigui, di assicurare la possibilità che gli occupanti lascino il locale indenni o che gli stessi siano soccorsi in altro modo e, infine, di garantire la possibilità per le squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza.

Una progettazione accurata dei particolari costruttivi, degli impianti, la scelta di opportuni materiali possono ridurre il rischio incendio e portarlo a valori paragonabili a quelli di strutture realizzate con materiali tradizionali. Le soluzioni praticabili si possono riassumere nei seguenti punti:

- Tenere distaccato il legno da possibili fonti di inneschi (camini, dispositivi elettrici, elementi autoriscaldanti in genere, ...);
- Prevedere in posizioni strategiche elementi di discontinuità di materiali combustibili e di intercapedini;
- Compartimentare adeguatamente l'edificio;
- Introdurre fasce di materiali incombustibili per interrompere la continuità;
- Scegliere i materiali in base a un controllo costante del carico d'incendio, ad esempio introducendo lastre o pannelli di materiali incombustibili o con potere calorifico molto basso;
- Dimensionare opportunamente le strutture lignee ma anche gli elementi metallici di giunzione.

2.5.1 Resistenza e reazione al fuoco

Nell'affrontare il progetto di un edificio in legno si parte da un approccio olistico per poi arrivare al singolo componente costruttivo, del quale vanno indagati, per descriverne il comportamento, due aspetti molto diversi della sicurezza al fuoco: la resistenza e la reazione al fuoco.

La reazione al fuoco è definita come il grado di partecipazione di un materiale combustibile al fuoco al quale è esposto. È una proprietà del materiale che dipende dalla sua stessa natura ed, eventualmente, dal trattamento superficiale. I materiali sono classificati, in accordo con la norma UNI EN 13501-1, nelle Euroclassi di reazione al fuoco A1, A2, B, C, D, E e F in maniera crescente all'aumentare della loro partecipazione alla combustione. Le caratteristiche di reazione al fuoco dei pannelli multistrato in legno, ad esempio, sono D-s2, d0 [13][14], con una produzione di fumo non elevata e nessun gocciolamento o caduta di materiale ardente.

Un incremento delle prestazioni è possibile ricorrendo a soluzioni costruttive che presentano appropriati rivestimenti, quali materiali isolanti, lastre di cartongesso, ecc.

La resistenza al fuoco è definita dal D.M. 09/03/2007 come la capacità portante in caso di incendio per un elemento strutturale, nonché la capacità di compartimentazione rispetto all'incendio per un elemento di separazione. Essa è una proprietà della stratigrafia e non dei materiali che lo compongono; dipende infatti dalla geometria, dai carichi agenti e dalle condizioni di esposizione. Alle strutture portanti generalmente è richiesto il solo requisito R di capacità portante e stabilità, mentre agli elementi di compartimentazione sono richiesti anche i requisiti di tenuta E, ossia la proprietà di un elemento a non lasciar passare vapori o gas caldi sul lato non esposto, e di isolamento I, ossia la capacità di ridurre la trasmissione di calore.

Per quel che concerne la resistenza al fuoco negli edifici in XLam, L'Eurocodice dà indicazioni solamente su travi e pilastri e non ancora sui sistemi a pannelli portanti, non chiarendo se essi debbano rispettare i requisiti di reazione al fuoco, oltre a quelli di resistenza. Costituendo un'importante frazione della superficie totale dei compartimenti, si ritiene opportuno considerare i pannelli sia come struttura che come rivestimento, ed indagarne perciò sia le prestazioni di resistenza sia quelle di reazione al fuoco.

Non esistono ancora in normativa valori di riferimento della velocità di carbonizzazione dei pannelli multistrato in legno. L'unico riferimento applicabile è quello della tabella 3.1 dell'EC 1995-1-2 (vedi tabella 2.6 alla pagina seguente), dove viene indicato per i "pannelli a base di legno diversi dal compensato" un valore di 0,9 mm/min. Da prove sperimentali si è osservato tuttavia che i valori della velocità dei pannelli sono in realtà più simili a quelli del legno massiccio.

	β_0 [mm/min]	β_n [mm/min]
a) Conifere e faggio		
Legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica ≥ 290 kg/m^3	0,65	0,7
Legno massiccio con massa volumica caratteristica ≥ 290 kg/m^3	0,50	0,8
b) Latifoglie		
Legno massiccio o lamellare incollato con massa volumica caratteristica pari a 290 kg/m^3	0,65	0,7
Legno massiccio o lamellare con massa volumica caratteristica ≥ 450 kg/m^3	0,50	0,55
c) LVL		
con massa volumica caratteristica ≥480 kg/m^3	0,65	0,7
d) Pannelli		
Rivestimenti in legno	0,9*	-
Compensato	1,0*	-
Pannelli a base di legno diversi dal compensato	0,9*	-

**I valori si applicano a una massa volumica caratteristica di 450 kg/m^3 e a uno spessore del pannello di 20 mm. Per altri spessori e masse volumiche, vedere punto 3.4.2(9) della norma*

Tabella 2.6 - Velocità di carbonizzazione di progetto β_0 e β_n per legno, LVL, rivestimenti di legno e pannelli a base di legno, in conformità alla norma EC 1995-1-2.

Diversi produttori di pannelli XLam hanno condotto test in accordo con la serie di norme UNI EN 1363 e EN 1364 per determinare il comportamento resistente al fuoco. Un pannello di struttura a 3 strati e spessore 90 mm, ad esempio, può raggiungere una resistenza al fuoco R30 con valori di tenuta e isolamento EI60.

La struttura che deve garantire una determinata resistenza al fuoco può essere realizzata mediante elementi massicci sovradimensionati oppure mediante elementi più snelli ma protetti con lastre; in questo secondo caso si deve fare attenzione alla continuità delle lastre utilizzate ed al sistema di ancoraggio.

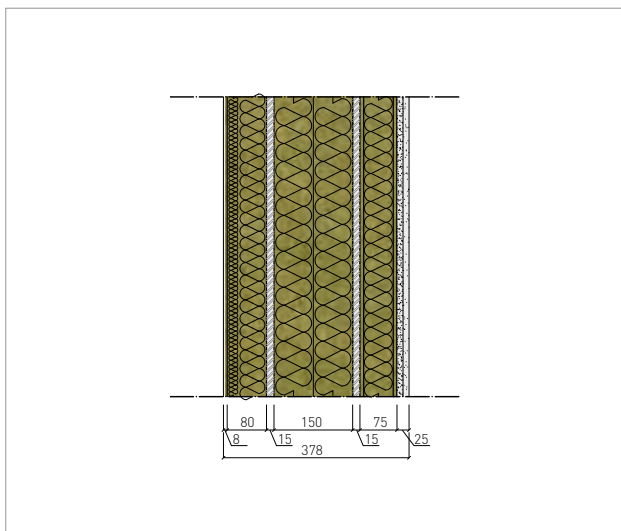



Figura 2.22 - Stratigrafia della parete sottoposta a test.

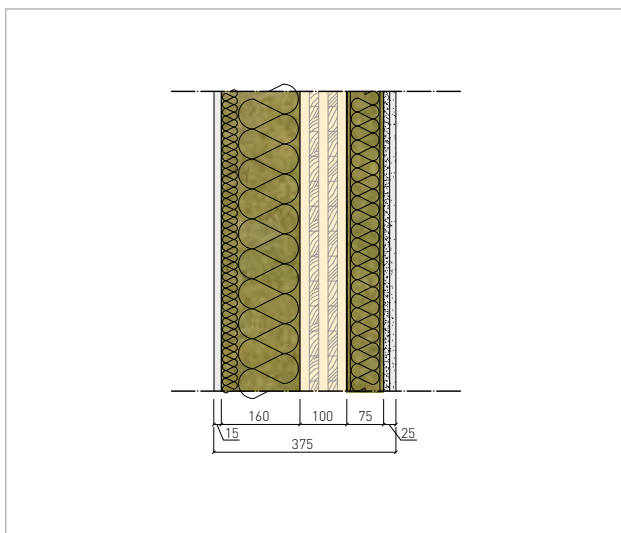



Figura 2.23 - Stratigrafia della parete sottoposta a test.

Negli edifici a pannelli intelaiati, il telaio della parete è formato da elementi di sezione snella; i pannelli di rivestimento strutturale a base di legno hanno spessore limitato, solitamente 12 mm, al massimo 15 mm, e gli elementi metallici di collegamento sono direttamente esposti al fuoco. Risulta evidente che la resistenza al fuoco possa essere conferita solo attraverso lastre di rivestimento interno in cartongesso o gessofibra.

Il metodo di verifica per gli elementi di separazione è presentato nell'Appendice E della norma europea EN 1995-1-2 e consiste nell'accertamento che il tempo impiegato perché si verifichino gli incrementi di temperatura sul lato non esposto sia uguale o maggiore alla resistenza al fuoco richiesta per la loro funzione di compartimentazione. L'isolamento del componente dipende dal comportamento al fuoco dei singoli layer che compongono la stratigrafia del pacchetto, così come dalla loro posizione relativa e dalla modalità di giunzione. Secondo la EN 1995-1-2, ad esempio, un rivestimento della parete con un pannello di cartongesso standard da 15 mm di spessore, se posato con un'intercapedine vuota superiore ai 2 mm di spessore, fornisce una resistenza al fuoco di 19 minuti; se l'intercapedine è di 4 cm ed è riempita con lana di roccia tale valore aumenta fino a 35 min, da calcoli effettuati con il metodo migliorato dalla guida "*Fire safety in timber building. Technical guideline for Europe*" [15]. Pertanto, nell'ottica di operare una buona progettazione, occorre valutare il comportamento al fuoco non solo delle strutture portanti ma anche dei materiali di finitura.

A titolo esemplificativo, si riportano i risultati di test condotti su due stratigrafie composte da un pacchetto a più strati, come quelle rappresentate in figura, eseguiti in laboratorio in accordo con le norme UNI EN 1365-1: 2002 e UNI EN 1363-1: 2001 [16][17]. Nel primo caso, la parete è in pannelli XLam (Figura 2.22) mentre nel secondo caso la parete è intelaiata, realizzata con travi portanti di legno 60 x160 mm placcati con pannelli OSB per controventatura ed irrigidimento (Figura 2.23). In ambo i casi, sul lato esterno è stato applicato un isolamento a cappotto con isolante in lana di roccia [ROCKWOOL], mentre sul lato interno una controparete con struttura autoportante metallica isolata con pannelli in lana di roccia [ROCKWOOL], chiusa con pannelli di rivestimento in gesso rivestito e gesso-fibra. Il comportamento della parete in XLam così composta ha presentato prestazioni tali da essere classificata REI 90 e quello della parete intelaiata ha permesso di raggiungere valori superiori, pari ad una classificazione REI 120.

2.5.2 Strategie per la sicurezza antincendio

La prevenzione incendi riguarda quell'insieme di misure, provvedimenti, accorgimenti e attenzioni intesi ad evitare, in accordo con le norme emanate dagli organi competenti, l'insorgere di un incendio e a limitarne le conseguenze e la sua propagazione. Una delle principali zone in cui si ha facilità di propagazione è la facciata, soprattutto se ventilata. Le intercapedini esterne creano un flusso d'aria alimentato dal delta termico, con conseguenti vantaggi dal punto di vista dell'isolamento termico e acustico. Tale fenomeno viene però esaltato in caso di incendio e diventa causa di una veloce propagazione. Il rivestimento esterno infatti impedisce al calore di disperdersi ed il flusso d'aria garantisce l'alimentazione della combustione e la sua propagazione.

La diffusione di un incendio sulla parete esterna di un edificio è notevolmente influenzata dal tipo, dall'intensità e dalla posizione del fuoco incipiente. Ogni tipologia di facciata deve rispettare gli obiettivi della sicurezza antincendio in tutti gli scenari di incendio possibili (Figura 2.24).

A tale proposito il Ministero dell'Interno, attraverso il Dipartimento dei Vigili del Fuoco, ha emanato una guida tecnica sui "*Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili*" [18], nella quale vengono fornite specifiche indicazioni relative alla sicurezza antincedio delle facciate. Questa guida, pubblicata come aggiornamento della precedente versione del marzo 2010, rimane un documento di carattere volontario, riferito ad edifici aventi altezza antincendio superiore ai 12 metri.

a) incendio che si origina all'interno dell'edificio e si propaga verso la facciata esterna attraverso un'apertura (ad esempio una finestra)

b) incendio che si origina all'esterno dell'edificio (balconi, edifici adiacenti, strada) e che si propaga direttamente sulla facciata

c) caduta di parti di facciata, frammenti di vetro o parti incendiate

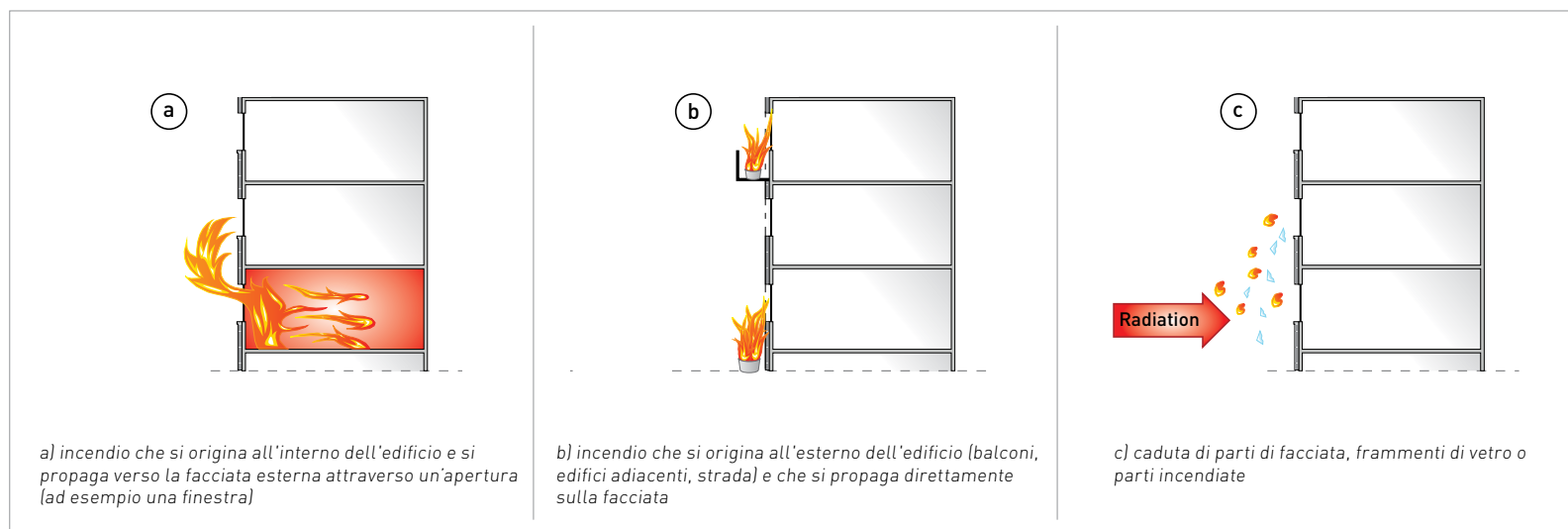



Figura 2.24 - Scenari di propagazione degli incendi in facciata.

In particolare vengono perseguiti i seguenti obiettivi:

- limitare la probabilità di propagazione di un incendio originato all'interno dell'edificio, a causa di fiamme o fumi caldi che fuoriescono da vani, aperture, cavità verticali della facciata, interstizi eventualmente presenti tra la testa del solaio e la facciata o tra la testa di una parete di separazione antincendio e la facciata, con conseguente coinvolgimento di altri compartimenti, sia che essi si sviluppino in senso orizzontale che verticale, all'interno della costruzione e inizialmente non interessati dall'incendio;
- limitare la probabilità di incendio di una facciata e la sua successiva propagazione, a causa di un fuoco avente origine esterna (incendio in edificio adiacente oppure incendio a livello stradale o alla base dell'edificio);
- evitare o limitare, in caso d'incendio, la caduta di parti di facciata (frammenti di vetri o di altre parti comunque disgregate o incendiate) che possono compromettere l'esodo in sicurezza degli occupanti l'edificio e l'intervento delle squadre di soccorso.

La guida tecnica, oltre a fornire una caratterizzazione tipologica delle facciate, individua, per ognuna di esse, specifiche prestazioni di resistenza al fuoco ed indica le classi di reazione al fuoco che i materiali isolanti presenti in facciata devono possedere.

In particolare, per quanto riguarda i prodotti isolanti in facciata, posti a ridosso dei vani finestra e porta-finestra per una fascia di larghezza 0,6 m e posti alla base della facciata fino a 3 m fuori terra, la guida tecnica propone l'impiego di materiali di classe di reazione al fuoco almeno pari a B-s3-d0. Per le altre parti di facciata è invece consentito l'utilizzo di prodotti isolanti con classe di reazione al fuoco meno restrittiva, purchè installati protetti, anche all'interno di intercapedini o cavità, secondo le seguenti indicazioni:

- prodotto isolante C-s3-d2 se protetto con materiali almeno di classe A2;
- prodotto isolante di classe non inferiore a E se protetto con materiali almeno di classe A1 aventi uno spessore non inferiore a 15 mm.

In generale, possono comunque essere adottate soluzioni protettive ulteriori, se supportate da specifiche prove di reazione al fuoco che garantiscano una classe comunque non inferiore a B-s3-d0.

Più specificatamente dedicato alle costruzioni in legno, l'Ufficio prevenzione incendi del Corpo permanente Vigili del Fuoco della Provincia di Trento ha recentemente pubblicato il documento "*Sicurezza antincendio negli edifici in legno soggetti al controllo dei Vigili del Fuoco – Valorizzazione della risorsa legno nell'ambito delle costruzioni attraverso l'individuazione di modalità per il raggiungimento di elevati standard di sicurezza nei confronti dell'incendio*" [19]. La guida ribadisce i requisiti di resistenza e reazione al fuoco e presenta, in allegato, una carrellata di soluzioni praticabili dei vari componenti l'involucro di un edificio in legno, prima fra tutte quella riguardante la facciata ventilata (Figura 2.25).

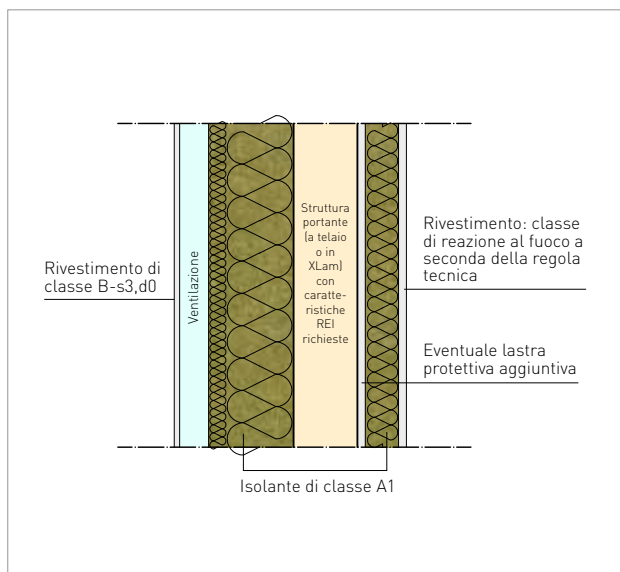



Figura 2.25 - Parete esterna ventilata.

Altro aspetto rilevante è la compartimentazione dell'edificio che viene realizzata tramite componenti divisorie che solitamente seguono i principi rappresentati in figura 2.26. Nel caso di parete realizzata in XLam la resistenza al fuoco è affidata al setto portante centrale, proporzionalmente al suo spessore, e può essere ulteriormente aumentata con l'applicazione di rivestimenti protettivi in cartongesso o gessofibra (A2-s1, d0).

Oltre a definire un'intercapedine per la collocazione degli impianti, tale tipo di rivestimenti permettono l'interposizione di pannelli incombustibili in lana di roccia. Con questo tipo di stratificazione si riescono a garantire anche prestazioni dal punto di vista della reazione al fuoco e l'assenza di inneschi come previsto nelle regole tecniche di prevenzioni incendi.

Nel caso di parete realizzata con pannello intelaiato (Figura 2.27) l'elemento resistente è costituito da un telaio in legno rivestito con lastre idonee a conferire all'elemento una adeguata resistenza al fuoco. Il materiale isolante posto nelle intercapedini esterne, che contengono eventualmente gli impianti, dovrà essere in classe A1 di reazione al fuoco.

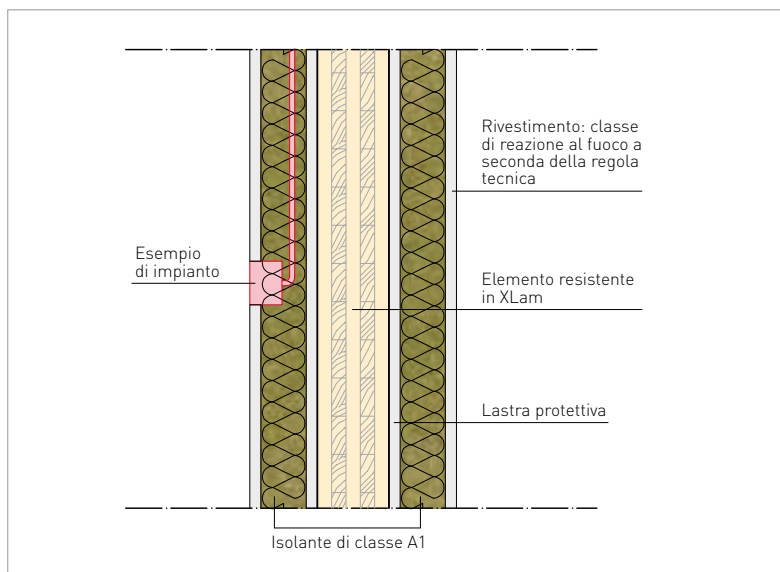



Figura 2.26 - Parete interna di compartimentazione in XLam con caratteristiche REI.

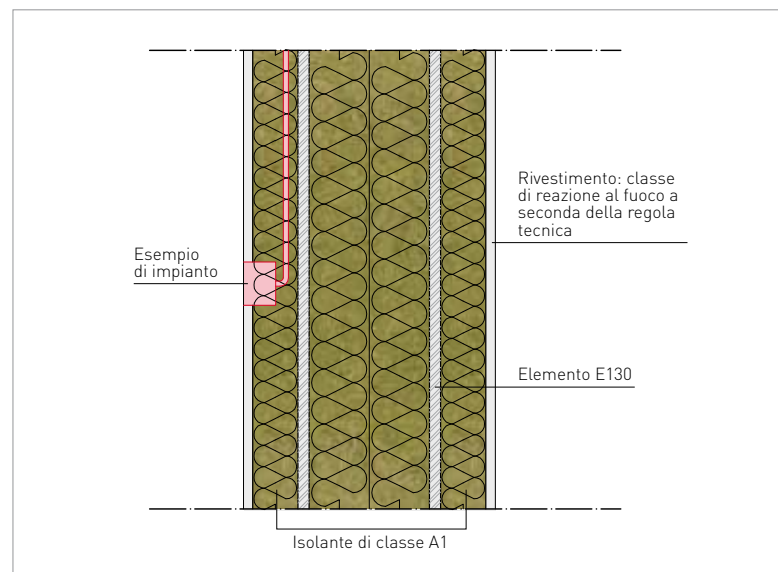



Figura 2.27 - Parete divisoria intelaiata.

I solai quasi sempre costituiscono strutture di compartimentazione (Figura 2.28). Qualsiasi sia la tipologia dei componenti (lastra, travi e tavolato, ecc) la resistenza al fuoco potrà essere ottenuta o maggiorando gli spessori di legno utilizzati o applicando rivestimenti protettivi.

La copertura solitamente deve garantire prestazioni R ma non REI, ed è quindi sufficiente dimensionare gli elementi strutturali lignei in modo da garantire la resistenza al fuoco (Figura 2.29). Il materiale isolante dovrà soddisfare le caratteristiche di reazione al fuoco richieste dalle regole tecniche.

Quando la copertura deve garantire anche caratteristiche EI oltre alla resistenza (Figura 2.30), si dovrà prestare attenzione a qualsiasi interruzione di continuità (passaggi camini, lucernari, murature passanti, cavi, ...) affinchè sia garantita la protezione del materiale isolante con elementi EI.

In generale, un ulteriore provvedimento per rallentare la propagazione dell'incendio in facciata consiste nell'interruzione dell'intercapedine d'aria, in corrispondenza dei solai, con profili sagomati abbinati a specifici elementi termoisolanti e incombustibili (Figura 2.31). Tali elementi orizzontali di interruzione non sono richiesti se nell'intercapedine è presente esclusivamente materiale isolante classificato almeno B-s3,d0.

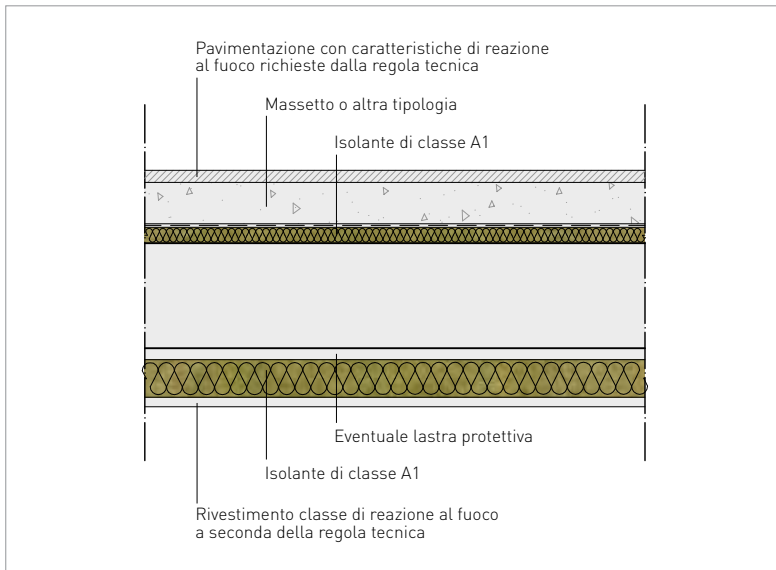



Figura 2.28 - Solaio interno di compartimentazione con caratteristiche REI.

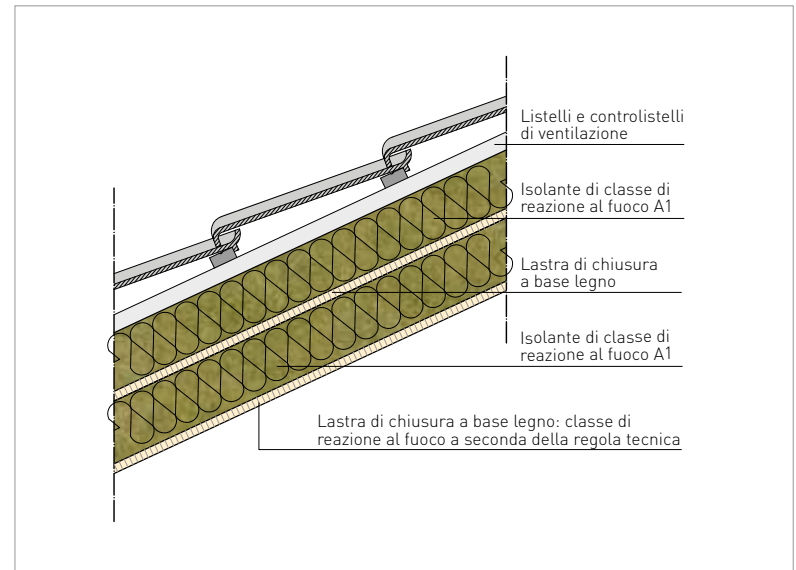



Figura 2.29 - Copertura a falda con caratteristiche R.

Altro aspetto al quale bisogna prestare particolare attenzione è costituito dalla presenza di camini. Questi impianti sono responsabili di una buona percentuale di incendi per i tetti in legno poichè, in particolare quando lavorano a temperature elevate, possono costituire una fonte di innesco per i materiali combustibili posti in prossimità.

Le canne fumarie, sia di tipo composito sia i sistemi camino prefabbricati, sono regolati dalla norma europea EN 1443, che ne definisce anche le regole per la marcatura del prodotto, codificata nella seguente forma

$$T400 - P1 - W - 1 - Gxx$$

dove $T400$ è la classe di temperatura (cioè la temperatura massima dei fumi di funzionamento del camino);
$P1$ rappresenta la classe di tenuta alla pressione dei fumi (N1: negativa- in depressione, P1: positiva, H1: positiva alta);
W è la classe di resistenza alla condensa (W: funzionamento a umido/condensazione a secco, D: funzionamento solo a secco);
1 rappresenta la resistenza alla corrosione (in funzione del tipo di combustibile);
G rappresenta la resistenza al fuoco di fuliggine (G: resistente, O: non resistente) e xx la distanza dai materiali combustibili;

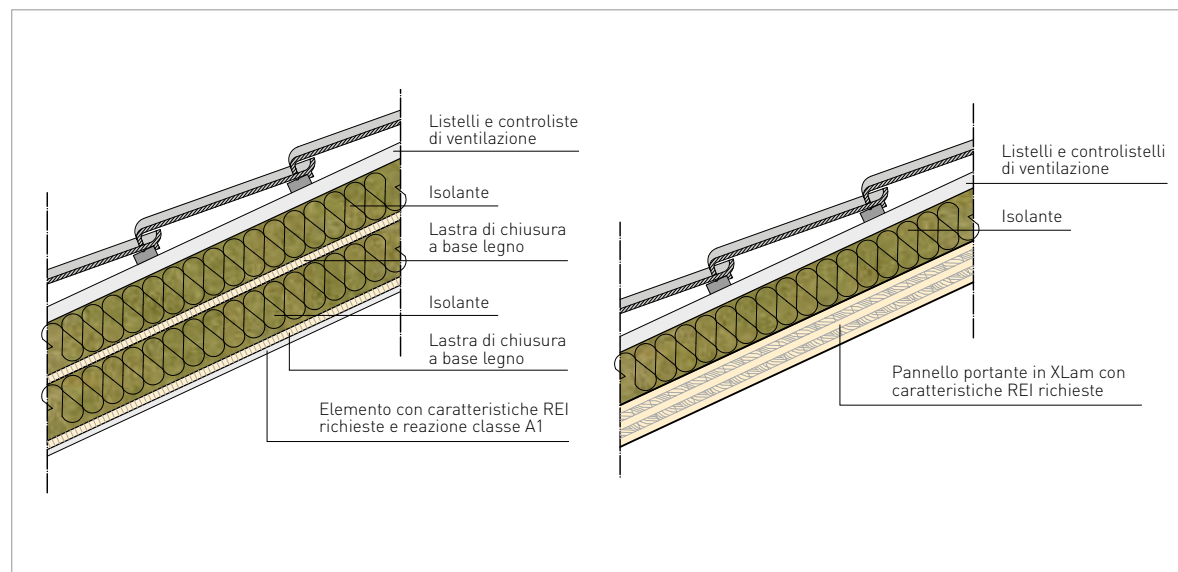



Figura 2.30 - Copertura a falda con caratteristiche REI: a) a pannelli intelaiati, b) a pannelli XLam.

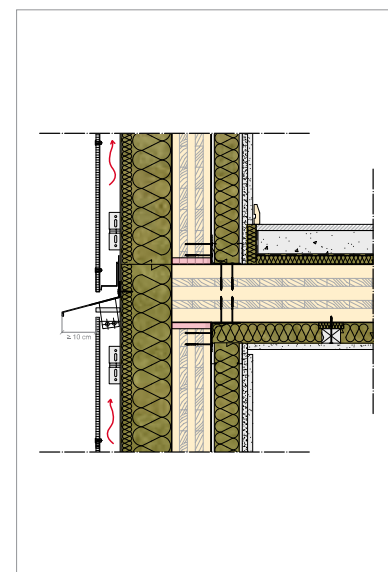



Figura 2.31 - Particolare dell'interruzione dell'intercapedine in corrispondenza del solaio.

Le xx, che nella marcatura sono numeri, indicano la distanza in millimetri alla quale si deve porre l'esterno del camino dai materiali combustibili, come i materiali a base di legno, con l'interposizione di un'intercapedine di aria libera e con eventualmente interposto materiale conforme alle specifiche del fabbricante del camino (se non specificato altrimenti, solitamente materiale in Euroclasse A1 con conduttività termica non maggiore di 0,035 W/mK ± 0,002 W/mK a 20°C).

La corretta progettazione dei punti critici di intersezione fra i sistemi di evacuazione fumi e gli elementi costruttivi combustibili (tetti, solai, partizione e chiusure verticali) consente senza alcun rischio la convivenza fra camini e strutture in legno (Figure 2.32 a,b). Per ulteriori informazioni riguardo alla corretta esecuzione del camino si consultino le guide "*Manuale Camino Sicuro*" [20] e "*Linea guida per il camino/canna fumaria – sistema fumario*" [21].

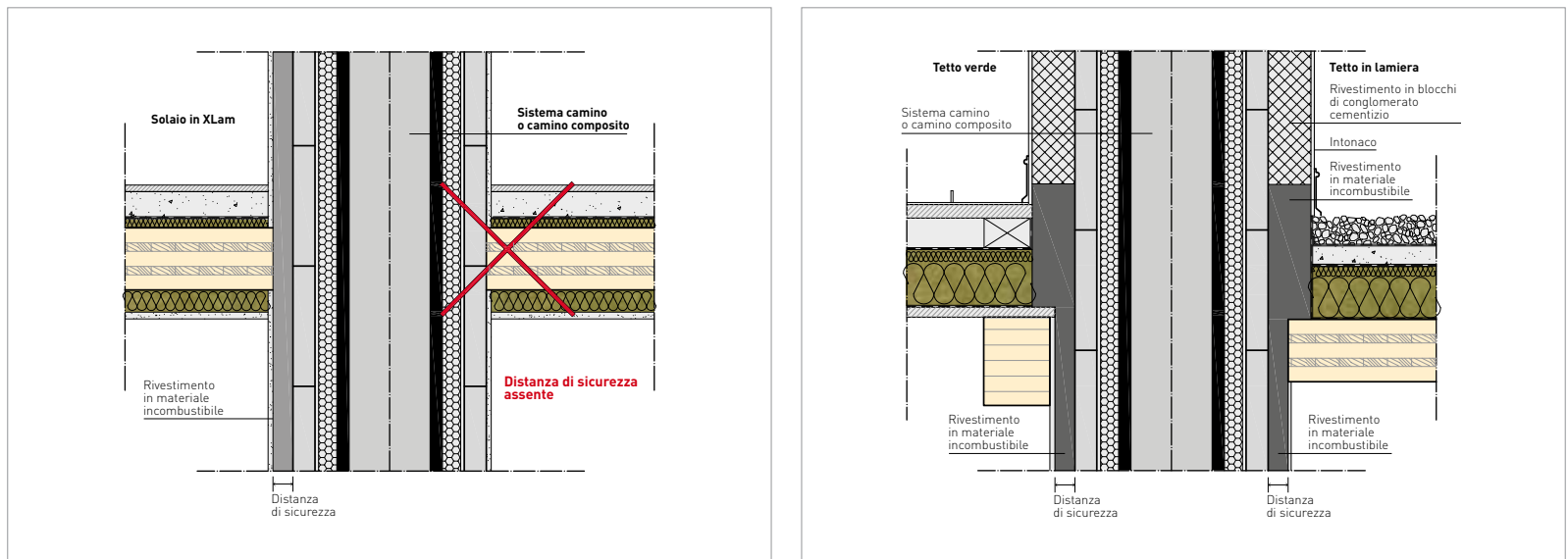



Figura 2.32 a,b - Esempi di corretto attraversamento del camino nel solaio, in alto, e in copertura, in basso.

2.6 Cenni sulla sicurezza al sisma

Il legno da costruzione presenta una massa volumica caratteristica, variabile da specie a specie, che si aggira in un intervallo di valori indicativi ρ_k = 400-700 kg/m^3. Se si fa il paragone con i pesi specifici del calcestruzzo armato e dell'acciaio, rispettivamente 2500 kg/m^3 e 7860 kg/m^3, il legno si presenta come un materiale fondamentalmente leggero, anche nel suo utilizzo "massiccio". Nonostante ciò, possiede un'ottima efficienza strutturale, in termini di resistenza.

La tabella 2.7 mostra come il suo rapporto fra la resistenza a compressione f e la massa volumica ρ sia simile a quello dell'acciaio e pari a circa 5 volte quello del calcestruzzo armato.

Materiale	f/ρ [m^2/s^2] *
Legno lamellare GL24	~63000
Legno lamellare GL28	~80000
Legno netto (Abete rosso)	~183000
Calcestruzzo (Rck30)	~10400
Acciaio	~130000

**considerando i dati f e ρ come da Eurocodici*

Ciò dimostra che a parità di resistenza è possibile, utilizzando elementi lignei, alleggerire notevolmente la struttura. I vantaggi sono a livello di trasporto, di cantiere, e soprattutto nel raggiungimento dei requisiti di resistenza al terremoto. Dato che le forze sismiche agenti sulla struttura di un edificio sono proporzionali alla sua massa, edifici leggeri, come quelli realizzati in legno, saranno soggetti a minori sollecitazioni. Inoltre, essi rispondono bene al sisma grazie alla loro elasticità, mentre le strutture rigide non sono in grado di adattarsi alle sollecitazioni a cui sono sottoposte.

Il comportamento complessivo sotto l'azione sismica dipende anche dalla duttilità della sua struttura portante, ossia dalla capacità di dissipare l'energia trasferita dal sisma attraverso deformazioni in campo non lineare. Le strutture in legno, nonostante il materiale sia in ultimo fragile, riescono a raggiungere elevati livelli di duttilità grazie alle connessioni metalliche fra i singoli elementi costruttivi (piastre metalliche, chiodi, viti e bulloni).

L'energia del terremoto viene assorbita dagli elementi metallici di collegamento che, grazie al loro comportamento duttile, si snervano e plasticizzano prima che avvenga la rottura del legno.

Di questa dissipazione di energia, che avviene mediante l'interazione dei sistemi di fissaggio con il rivestimento e la struttura in legno, si tiene conto nella progettazione sismica attraverso il fattore di struttura q, definito come

$$q = \frac{a_u}{a_v}$$

ovvero come il rapporto fra l'accelerazione di picco del terremoto che porta al crollo la struttura e l'accelerazione di picco che porta la struttura al raggiungimento del limite elastico.

Le normative assegnano per tutte le strutture uno stesso spettro di risposta elastico che va ridotto dividendo, di caso in caso, per il fattore di struttura assegnato al sistema strutturale adottato. Tale procedura si basa sul principio che, dal momento che la deformazione plastica degli elementi di collegamento permette di dissipare l'energia in atto durante l'evento sismico, si può considerare per i successivi calcoli solo una parte della forza sismica totale.

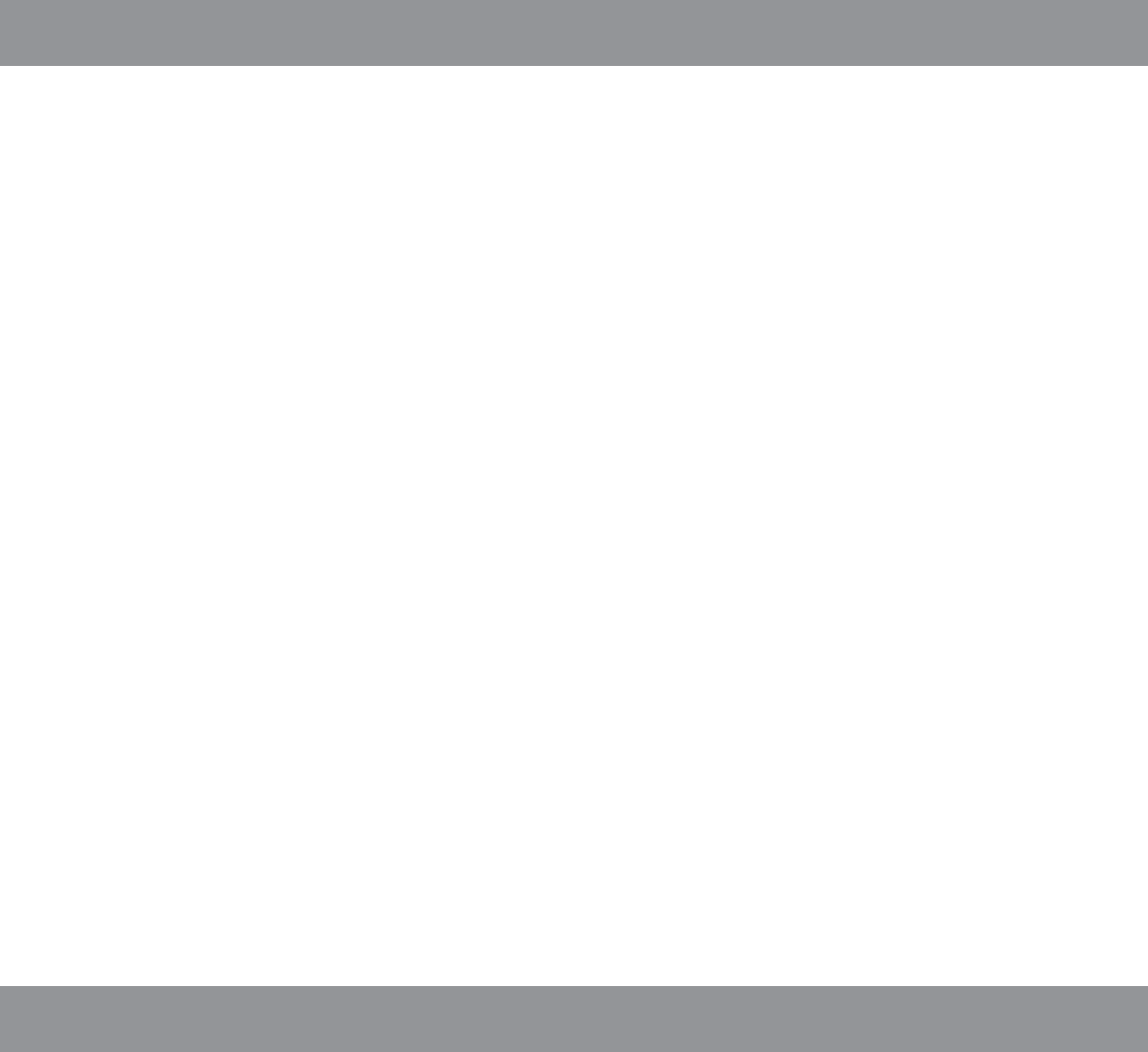
Il capitolo 9 del D.M. 14 gennaio 2008 – "*Norme tecniche per le costruzioni*", dedicato alle strutture in legno in zona sismica, riproponendo le indicazioni dell'Eurocodice 8, assegna ai diversi sistemi strutturali i rispettivi valori di fattore di struttura (Tabella 8).

Classe		q	Esempi di strutture
A	Strutture aventi una alta capacità di dissipazione energetica	3,0	Pannelli di parete chiodati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi e bulloni; strutture reticolari con giunti chiodati
		4,0	Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni
		5,0	Pannelli di parete chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi e bulloni
B	Strutture aventi una bassa capacità di dissipazione energetica	2,0	Pannelli di parete incollati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi e bulloni; strutture reticolari con collegamenti a mezzo di bulloni o spinotti; strutture cosiddette miste, ovvero con intelaiatura (sismoresistente) in legno e tamponature non portanti Portali isostatici con giunti con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni
		2,5	Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni

Tabella 2.8 - Tipologie strutturali e fattori q per strutture a comportamento dissipativo.

Poichè la duttilità della struttura dipende dalle connessioni, il comportamento migliore si avrà nei sistemi costruttivi in legno con un numero maggiore di collegamenti di tipo duttile. Gli edifici a pannelli intelaiati assemblati con chiodature metalliche danno complessivamente un comportamento molto duttile ed un fattore di struttura elevato rispetto ai pannelli di legno massiccio, dove i collegamenti sono sicuramente in numero inferiore. In accordo con la normativa europea per i sistemi con pannelli di parete chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi e bulloni, si può assumere un fattore di struttura q = 5,0, mentre per i pannelli di parete incollati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi e bulloni, si può assumere un fattore di struttura q = 2,0. Esperienze scientifiche recenti effettuate in Italia hanno dimostrato come sia possibile assumere un valore maggiore, pari a q=3,0 [22], sulla base del comportamento sismico di edifici a pannelli XLam, analizzato mediante prove sperimentali effettuate sia su singoli elementi, sia su edifici interi sia mediante simulazioni numeriche.

Il sistema costruttivo blockbau presenta un numero limitato di elementi metallici, poiché le unioni utilizzate sono prevalentemente di carpenteria, ovvero unioni che sfruttano il contatto tra gli elementi, senza l'utilizzo di connettori. Tali tipologie di unione permettono la trasmissione di sforzi e consentono alla struttura di compiere spostamenti evitando la creazione di tensioni nei diversi elementi strutturali collegati. Attualmente viene utilizzato un fattore di struttura pari a 1,5, poichè, non contemplando la resistenza alle azioni orizzontali per attrito tra le travi, considera la struttura non dissipativa. Sperimentazioni in atto hanno studiato il comportamento rispetto alle azioni orizzontali delle strutture in legno tipo blockbau e hanno ottenuto un valore decisamente maggiore di fattore di struttura per questa tecnica costruttiva [23].

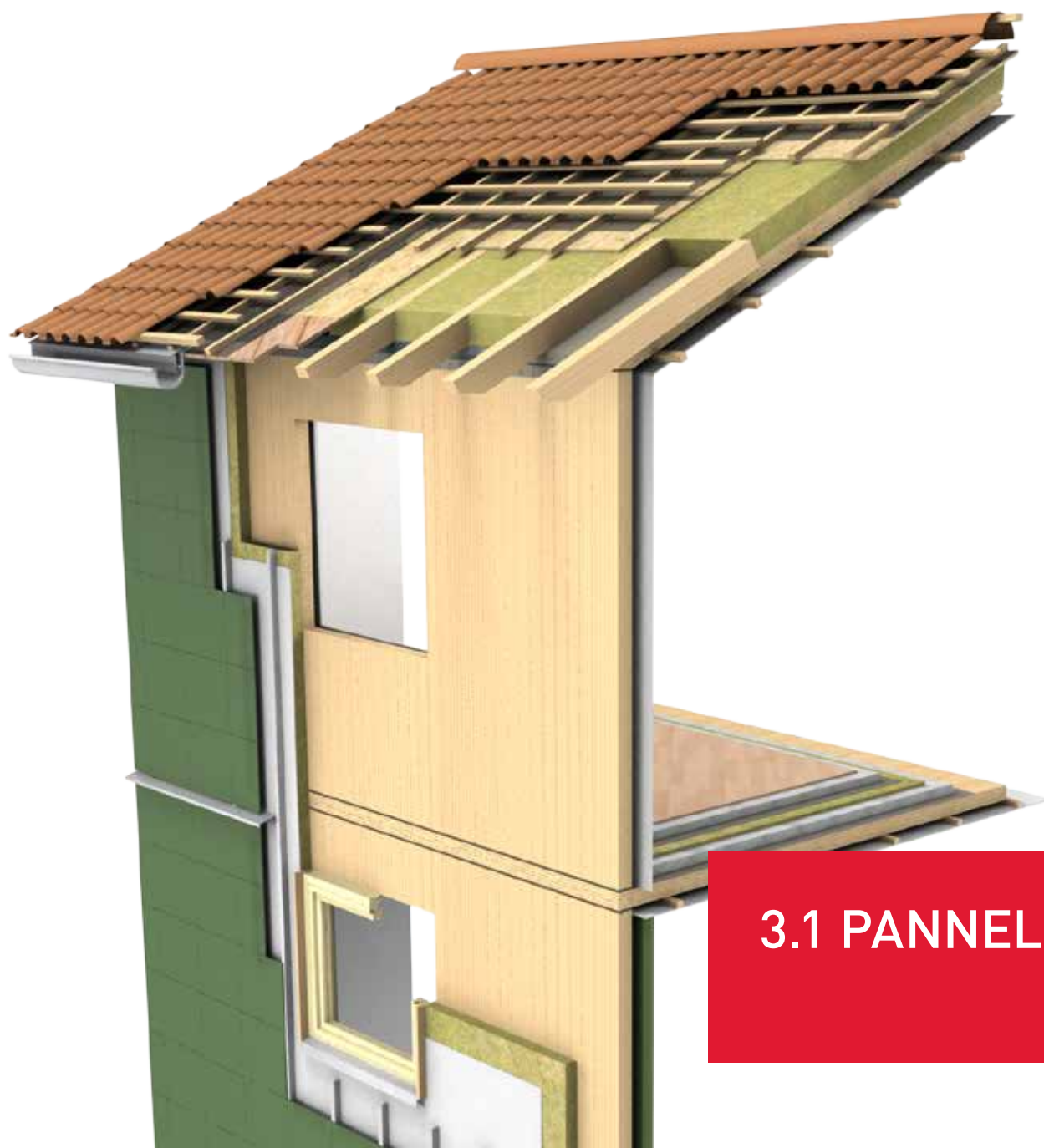
Nel frattempo, in attesa dell'integrazione di tali studi in riferimenti normativi applicabili, gli unici valori utilizzabili per le costruzioni a pannelli XLam e blockbau rimangono quelli espressi nel D.M. 2008 che, essendo molto cautelativi, consentono di progettare in completa sicurezza.

CAPITOLO 3

Sistemi e soluzioni costruttive

3.1 PANNELLI XLAM

3.2 PANNELLI INTELAIATI

3.3 NUOVO BLOCKBAU

3.4 SISTEMA A TRAVI E PILASTRI

3.1 PANNELLI XLAM

3.1.1 Generalità

Il *Cross Laminated Timber Panel* (*CLT Panel*) detto, in maniera abbreviata, *Pannello CrossLam*, in italiano viene comunemente detto *Pannello XLam*.

Il pannello XLam è in legno massiccio e composto da strati di tavole, isorientate, sovrapposti uno sull'altro ed incrociati in modo che l'andamento delle fibre delle tavole di ognuno di essi sia ruotato di 90° rispetto allo strato sottostante (Figura 3.1). Le tavole sono generalmente di legno di conifera, come la maggior parte degli elementi lignei per carpenteria e ossature portanti (Figura 3.2). Sono allo studio soluzioni costruttive che prevedano l'impiego di altre essenze, ma al momento non hanno diffusione.

I singoli strati sono composti da tavole di spessore variabile compreso fra 15 e 30 mm; alcuni produttori utilizzano anche elementi fino a 50 mm. La larghezza delle tavole oscilla fra gli 80 ed i 240 mm. Esse devono rispettare i medesimi criteri di quelle per la produzione di legno lamellare incollato, classificate secondo la resistenza e appartenenti alla classe C24. Le tavole possono essere incollate o inchiodate o collegate con perni lisci/filettati.

Nelle prime realizzazioni l'incollaggio era realizzato con colle rosse alla resorcina. Attualmente per diminuire la presenza di agenti inquinanti nell'aria all'interno degli edifici si utilizzano colle bianche poliuretaniche (Figura 3.3). La differenza di colore tra i due collanti è la garanzia dell'uso corretto di quelle meno inquinanti. Nel caso che la giunzione delle tavole sia fatta con chiodi, questi ultimi sono in alluminio per evitare la rottura delle seghe durante la fase di taglio del pannello (Figura 3.4).

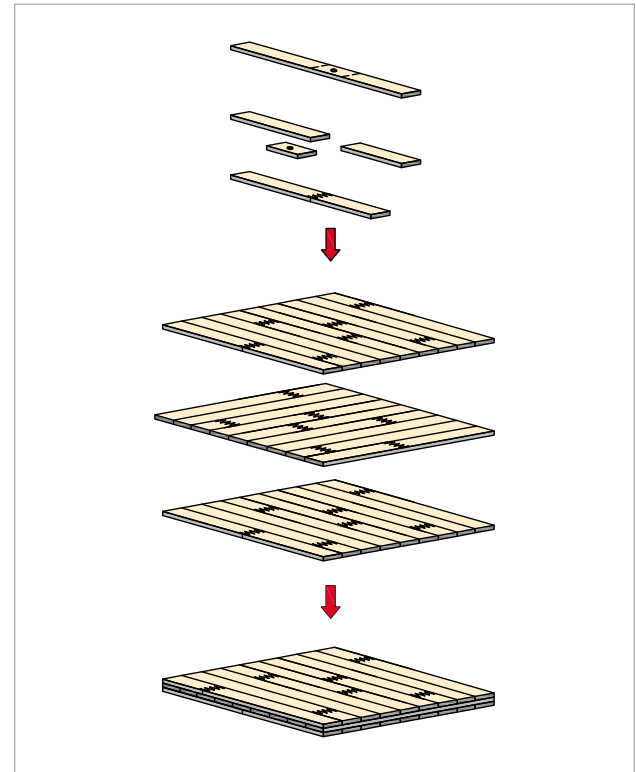



Figura 3.1

Figura 3.2 – Vista della sezione di un pannello XLam.

Figura 3.3 - Incollaggio con colla bianca poliuretanica.

Figura 3.4 - Il taglio di un pannello XLam con tavole incollate.

Figura 3.5 - Perno liscio in un pannello XLam.

Figura 3.6 - Pannello XLam ottenuto con tre strati di tavole.

La connessione con perni lisci o filettati è ottenuta con elementi di faggio la cui lunghezza è in funzione dello spessore del pannello. Essi sono inseriti in appositi fori a pressione o con avvitatura. In ogni caso al momento dell'inserimento hanno una percentuale di umidità minore di quella del pannello in modo da garantire la perfetta aderenza in esercizio quando i valori di umidità si saranno riequilibrati e conseguentemente il perno avrà aumentato le sue dimensioni trasversali (Figura 3.5).

Il numero di strati di un pannello e il loro spessore varia e dipende non solo dalle esigenze strutturali e dall'utilizzo, setto verticale o solaio, ma anche dalle modalità di unione delle tavole e dal produttore. Comunque, servono almeno tre strati per ottenere il corretto ed efficace comportamento fisico e meccanico che caratterizza un elemento multistrato (Figura 3.6 e 3.7). In alcuni casi si producono pannelli con strati doppi, in modo da ottenere una maggiore caratterizzazione delle prestazioni meccaniche in una delle due direzioni del piano del pannello stesso.

Prodotti standard sono pannelli che di regola sono uguali o di poco superiori, in altezza, alla luce libera di piano di un edificio per ragioni di opportunità progettuale e costruttiva. Le dimensioni commerciali massime dei pannelli XLam più diffusi sono, appunto, 3 m d'altezza, mentre la lunghezza può raggiungere i 16 m e lo spessore i 50 cm (Figura 3.8). È evidente che la lunghezza è in funzione delle modalità di trasporto, mentre lo spessore sarà relazionato alle prestazioni di resistenza richieste. Entro questi limiti, le dimensioni del singolo pannello possono variare, comunque, in modo notevole.

Per la sua conformazione e costituzione il pannello in XLam è un elemento portante di superficie che può essere utilizzato come parte resistente sia delle pareti interne/esterne che delle chiusure orizzontali (solaio intermedio, solaio di copertura). Poco diffuso è l'uso come solaio di base data la nota incompatibilità del legno con ambienti che potrebbero in qualche modo determinare la presenza di acqua sulla superficie degli elementi costruttivi.

Figura 3.7 - Pannello XLam ottenuto con cinque strati di tavole.

Figura 3.8 - Le dimensioni ricorrenti di un pannello di produzione standard.

3.1.2 Connessioni e montaggio

In un edificio realizzato per giustapposizione e sovrapposizione di elementi piani, come è il caso dei pannelli XLam, assumono rilevanza oltre che le unioni di forza anche quelle di tenuta tra gli elementi portanti. Mentre le prime saranno di carattere puntuale, le seconde dovranno essere lineari per garantire che l'ambiente interno non subisca interferenze da parte di quello esterno in termini di passaggio di aria e suono.

Data la leggerezza degli elementi costruttivi l'edificio in XLam ha in genere un terreno di sedime con una fondazione superficiale costituita da un solaio controterra areato oppure dall'ultimo solaio di un'eventuale costruzione interrata; comunque una fondazione continua che permetta di poggiare i pannelli in tutta la loro lunghezza (Figura 3.9).

La correlazione tra pannello e calcestruzzo è ottenuta per il tramite di segati di legno di specie durabile, ad esempio larice. Essi sono fissati sulla struttura sottostante a costituire una "trave di banchina", collegata con barre filettate alla fondazione. Il collegamento delle pareti avviene con viti auto-foranti inserite, inclinate sui due lati alla base delle stesse. Talvolta il pannello è conformato al bordo inferiore per facilitare la correlazione e la solidarizzazione tra gli elementi a contatto (Figura 3.10).

In alcuni casi la parete è collegata direttamente ad un cordolo di fondazione in cemento armato. In questo caso si prevedono delle staffe angolari di acciaio collegate con chiodi o viti alle pareti e sempre con tirafondi in acciaio alle fondazioni (Figura 3.11). Ovviamente bisognerà avere cura di isolare, con appositi teli o guaine bituminose, la fondazione in modo da evitare la risalita dell'acqua.

Figura 3.9 - Fondazione a platea per un edificio in XLam.

Figura 3.10 - Conformazione al bordo del pannello per facilitare la correlazione con l'elemento di banchina.

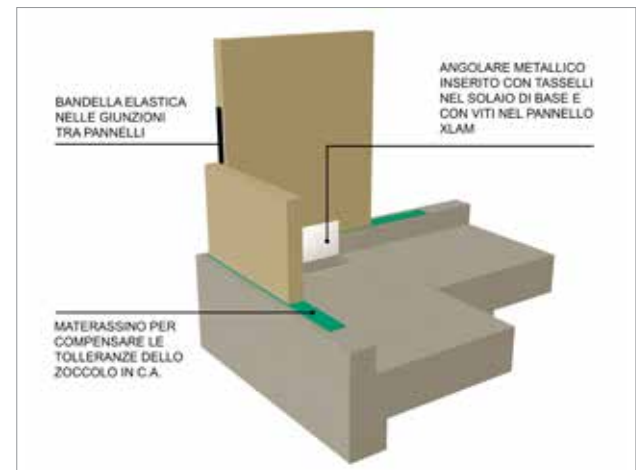



Figura 3.11 - Collegamento al cordolo di fondazione con piastre.

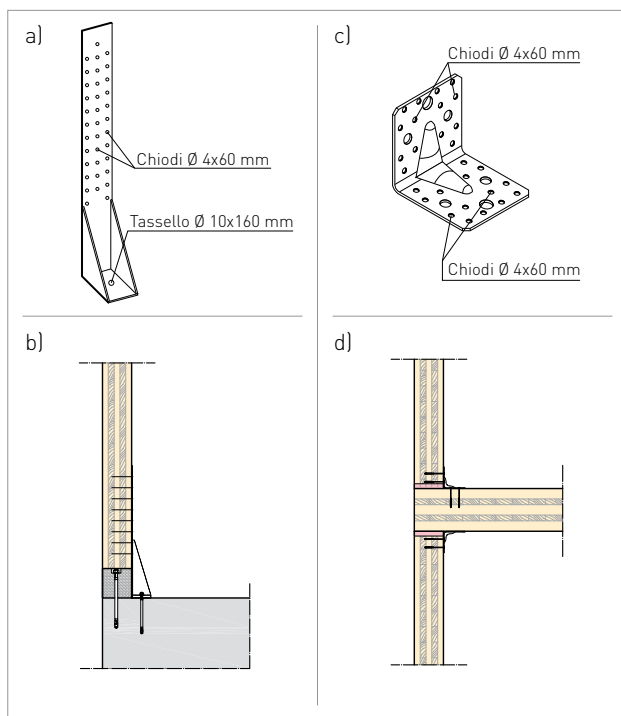



Figura 3.12
a) hold-down;
b) collegamento a terra con elemento in legno interposto;
c) angolare per il collegamento del pannello al solaio sottostante;
d) sigillatura con bande resilienti.

Figura 3.13 - Nastratura per la tenuta all'aria.

Il collegamento delle pareti alle fondazioni deve impedire che per effetto delle azioni orizzontali (vento o sisma), agenti nel piano ortogonale alla parete, si possa verificare sia il ribaltamento che lo scorrimento rispetto alle fondazioni. Il ribaltamento viene solitamente contrastato con delle piastre angolari allungate, gli *hold-down* (Figura 3.12a), collegati alle pareti con chiodi o viti e alle fondazioni in calcestruzzo con barre filettate in acciaio inserite in fori sigillati con malta cementizia o epossidica (Figura 3.12b). Il loro posizionamento è in corrispondenza dei limiti estremi delle pareti e in prossimità delle aperture.

I chiodi (meglio se ad aderenza migliorata) e le viti di collegamento alla parete hanno diametri variabili dai 3 ai 6 mm e le barre filettate dai 12 ai 18 mm a seconda del tipo di *hold-down* e dei carichi in gioco. Lo scorrimento invece può essere contrastato in vari modi, a seconda del metodo di collegamento delle pareti alle fondazioni. Nel caso di presenza di cordolo in legno, questo sarà collegato alle fondazioni con barre filettate. Ad esso verranno solidarizzati i pannelli per il tramite di piastre di acciaio.

La correlazione pannello-pannello avviene tramite ganci, viti ed elementi di giunto scorporati. Le pareti del primo piano vengono collegate al solaio sottostante con collegamenti meccanici (piastre metalliche angolari, chiodi e viti o bande forate sui lati esterni) con modalità analoghe a quelle impiegate nei collegamenti delle pareti con il sistema fondale. (Figura 3.12c).

Come accennato in precedenza, assumono rilevanza la tenuta all'aria e al rumore nei giunti lineari parete-solaio e parete-parete. In particolare nel giunto pannello-solaio per evitare la trasmissione del suono tra interno ed esterno, ovvero tra spazi contigui, si dovrà predisporre una banda resiliente in modo che vengano completamente evitate tutte le possibili discontinuità che ovviamente si determinano nelle costruzioni a secco per il contatto di due elementi costruttivi rigidi (Figura 3.12d). Il materiale resiliente assolverà al contempo anche alla funzione di ammortizzare le vibrazioni che potrebbero trasmettersi all'interno degli elementi costruttivi.

La tenuta all'aria in ambedue le giunzioni sarà invece risolta con un'opportuna nastratura fatta con bande autoadesive, ulteriore contributo sostanziale alla sigillatura del giunto parete-solaio fatta dalla banda resiliente per la tenuta al rumore (Figura 3.13).

Diverse sono le modalità di finitura interna. Il pannello potrà essere anche lasciato a vista. In questo caso sarà opportuno scegliere la variante di pannello con un lato prefinito in modo da avere una superficie che non "spolveri", cioè che non faccia e/o trattenga polvere e al contempo, al contatto, non rilasci elementi che possano graffiare o in qualche modo recare danno all'utente.

La finitura più ricorrente è con pannelli di cartongesso che potranno essere applicati direttamente sul setto portante o ad esso correlati per il tramite di una orditura di sostegno, fatta con profili metallici o con listelli di legno. In ambedue i casi si potrà determinare un'intercapedine disponibile per il passaggio degli impianti e per la posa in opera di un isolante termo-acustico (Figura 3.14).

Per la finitura esterna le soluzioni perseguibili sono di norma due: la parete ventilata o la finitura a cappotto. In ambedue i casi un pannello isolante di lana minerale verrà collegato con la parete per il necessario isolamento termico e acustico.

Nel caso della finitura a cappotto sull'isolante, previa predisposizione di una rasatura armata, si procederà con l'applicazione del ciclo di finitura.

Nella parete ventilata, dopo aver posto eventualmente un'opportuna barriera al vento, con la funzione di impedire infiltrazioni d'aria dall'esterno verso l'interno, si porrà in opera l'orditura di supporto, in legno o acciaio, dello strato di rivestimento esterno.

Figura 3.14 - Finitura interna in cartongesso.

3.1.3 Caratteristiche costruttive del sistema ai fini del comfort termo-igrometrico

Negli edifici in legno realizzati con pannelli XLam l'isolamento termico ed acustico assumono particolare rilevanza dato il basso peso specifico del materiale. Pertanto è necessario ricorrere a stratificazioni di materiali diversi del pacchetto del sistema di frontiera, allo scopo di garantire il giusto grado di comfort termo-igrometrico e acustico.

In un sistema a pannelli massicci, quale XLam, la parte portante costituisce un componente a sé stante, in adiacenza alla quale viene posizionato il pacchetto di isolamento. La collocazione dell'isolamento all'esterno del setto in XLam facilita l'eliminazione dei ponti termici e comporta l'aumento di massa del pacchetto, cosa che può favorire anche il comportamento estivo, soprattutto se si utilizzano materiali isolanti con buoni valori di massa volumica.

La conduttività termica λ di una parete in legno XLam presenta già di per sé un buon valore, se confrontato con altri materiali da costruzione. Tale valore non è costante ma in funzione della densità caratteristica delle lamelle del pannello ρ_k, che a sua volta dipende del contenuto di umidità u.

Figura 3.15 - Statigrafia della parete:
1. lastra in cartongesso
2. lastra in gessofibra
3. lana di roccia densità 70 kg/m³
4. pannello portante in XLam
5. pannello in lana di roccia doppia densità 155-80 kg/m³
6. strato di finitura.

Il valore di λ, a seconda del variare di ρ_k, si può ricavare dalla seguente formula:

$$\lambda = 0{,}000146 \cdot \rho_k + 0{,}035449$$

La massa volumica del legno varia considerevolmente da essenza a essenza e in base all'umidità del materiale. Per il valore ρ_k ci si riferisce ad un tasso di umidità di riferimento pari a u=12% , (condizione definita "normale") e, nel caso di abete rosso, quello usato in prevalenza per la produzione dei pannelli, si ottiene ρ_k= 512 kg/m³ e conseguentemente λ=0,110 W/mK.

In genere le normative vigenti riportano per ρ_k un valore pari a 500 kg/m³, sulla base del quale si ottiene λ=0,130 W/mK. Per i pannelli con spessori 94 mm e 125 mm, usati con maggior ricorrenza nell'edilizia a basso numero di piani, si hanno rispettivamente valori di U pari a 1,1 W/m²K e 0,88 W/m²K. Con un'opportuna stratificazione queste caratteristiche prestazionali possono essere incrementate con l'accoppiamento di opportuni materiali isolanti.

Ad esempio calcolando le prestazioni termiche della stratigrafia di figura 3.15 con i valori riportati in tabella 3.1 si ottiene una trasmittanza termica U (il cui valore è il reciproco della resistenza termica) pari a 0,14 W/m²K con uno spessore complessivo di 34,0 cm e una massa superficiale totale di circa 110 kg/m².

Stratigrafia	Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m³]	Resistenza termica [m²k/W]	Massa superficiale Ms [kg/m²]
Rsi Strato liminare interno						
1 Cartongesso	0.013	0.210	1050	900	0.060	11.25
2 Gessofibra	0.013	0.360	1000	1180	0.030	14.75
3 ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS	0.050	0.033	1030	70	1.515	3.50
4 Pannello multistrato in legno	0.095	0.130	1600	500	0.731	47.50
5 ROCKWOOL FRONTROCK MAX E	0.160	0.036	1030	90	4.444	14.40
6 Intonaco di calce	0.008	0.680	1000	1620	0.022	24.30
Rse Strato liminare esterno						
Spessore totale componente [cm]:	34.0			Resistenza termica totale [m²K/W]:	7.0	109.40

Tabella 3.1 - Valori caratteristici e resistenza termica totale della parete con stratigrafia come in figura 3.15.

Se si volesse raggiungere lo stesso risultato sostituendo l'elemento strutturale in legno (pannello XLam) con mattone pieno, si otterrebbe una parete con uno spessore di 55 cm e una massa di circa 600 kg/m^2.

Altro aspetto importante da tenere in considerazione per quanto riguarda il comfort abitativo è il comportamento estivo delle pareti. Anche in questo caso, sebbene la massa superficiale non sia elevata, gli edifici in XLam presentano un buon comportamento come si evince dall'analisi comparativa di tre diverse soluzioni costruttive in cui si è ipotizzato di mantenere inalterato lo spessore del setto portante: in XLam, calcestruzzo e muratura. Si è ipotizzata quindi una parete spessa 40 cm (Figura 3.16a) in cui sono state tenute costanti le stratificazioni delle finiture e dell'isolante, le cui caratteristiche sono riportate in tabella 3.2. Si riporta anche per completezza la verifica degli altri parametri rilevanti quali la trasmittanza termica periodica, lo sfasamento e l'attenuazione.

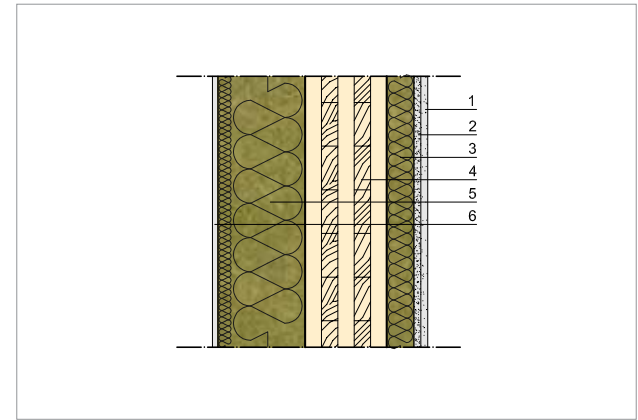



Figura 3.16a - Stratigrafia della parete con il setto in XLam:
1. lastra in cartongesso
2. lastra in gessofibra
3. pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS
4. pannello XLam
5. pannello ROCKWOOL FRONTROCK MAX E
6. intonaco

Stratigrafia	Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m^3]	Massa superficiale Ms [kg/m^2]	Costante di tempo τ [h]
1 Cartongesso	0.013	0.210	1050	900		
2 Gessofibra	0.013	0.360	1000	1180		
3 ROCKWOOL ACOUSTIC PLUS 225	0.050	0.033	1030	70	**136.90**	**56.68**
4 Pannello multistrato in legno	0.150	0.130	1600	500		
5 ROCKWOOL FRONTROCK MAX E	0.160	0.036	1030	90		
6 Intonaco di calce	0.008	0.680	1000	1620		

Trasmittanza U [W/m^{2}K]	**0.14**
Attenuazione f_d [-]	**0.044**
Sfasamento φ [h]	**15.90**
Trasmittanza termica periodica |Yie| [W/m^{2}K]	**0.006**

Tabella 3.2 - Valori caratteristici della parete con stratigrafia come in figura 3.16a.

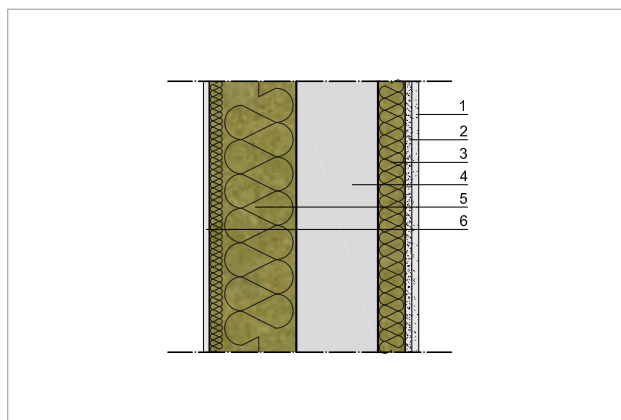



Figura 3.16b - Stratigrafia della parete con il setto in cls:
1. lastra in cartongesso
2. lastra in gessofibra
3. pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS
4. setto in c.a.
5. pannello ROCKWOOL FRONTROCK MAX E
6. intonaco

Per la parete di Figura 3.16a con i valori caratteristici come in tabella 3.2, si hanno prestazioni "Ottime e qualità prestazionale di I Livello" secondo il metodo dei parametri qualitativi del DM 26/06/2009, *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*. Inoltre, il valore del modulo di trasmittanza termica periodica |Yie| soddisfa la prescrizione del D.L. n.311 del 29/12/06, essendo inferiore a 0,12 W/m²K.

Per la parete di Figura 316b con i valori caratteristici come in tabella 3.3, si hanno prestazioni "Buone e qualità prestazionale di II Livello" secondo il metodo dei parametri qualitativi del DM 26/06/2009, *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*. Inoltre, il valore del modulo di trasmittanza termica periodica |Yie| soddisfa la prescrizione del D.L. n.311 del 29/12/06, essendo inferiore a 0,12 W/m²K.

Stratigrafia	Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m³]	Massa superficiale Ms [kg/m²]	Costante di tempo τ [h]
1 Cartongesso	0.013	0.210	1050	900		
2 Gessofibra	0.013	0.360	1000	1180		
3 ROCKWOOL ACOUSTIC PLUS 225	0.050	0.033	1030	70	**406.90**	**26.47**
4 Cls armato	0.150	2.300	1000	2300		
5 ROCKWOOL FRONTROCK MAX E	0.160	0.036	1030	90		
6 Intonaco di calce	0.008	0.680	1000	1620		

Trasmittanza U [W/m²K]	**0.16**
Attenuazione f_d [-]	**0.026**
Sfasamento φ [h]	**11.66**
Trasmittanza termica periodica |Yie| [W/m²K]	**0.004**

Tabella 3.3 - Valori caratteristici della parete con stratigrafia come in figura 3.16b.

Per la parete di Figura 3.16c con i valori caratteristici come in tabella 3.4, si hanno prestazioni "Ottime e qualità prestazionale di I Livello" secondo il metodo dei parametri qualitativi del DM 26/06/2009, *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*. Inoltre, il valore del modulo di trasmittanza termica periodica |Yie| soddisfa la prescrizione del D.L. n.311 del 29/12/06, essendo inferiore a 0,12 W/m²K.

Dal confronto si evince che nel caso di setti portanti in legno, a parità di spessore della parete, la costante di tempo risulta maggiore e quanto maggiore è la costante di tempo tanto minori sono le oscillazioni termiche interne e migliore il comportamento termico. Questo è possibile poiché il legno possiede un maggior valore di calore specifico ed un'elevata resistenza termica, che compensano la massa ridotta. Si può perciò affermare che l'utilizzo del pannello XLam determina buoni effetti di smorzamento, pur avendo massa superficiale minore di 230 kg/m².

Per quanto riguarda la tenuta all'aria, nel caso di costruzioni in XLam, i pannelli multistrato in legno sono sufficientemente stagni. Diversi test di permeabilità all'aria del prodotto, condotti ai sensi della norma EN 1026, hanno comprovato che essi possono essere considerati come strato ermetico. Si evita così l'interposizione di un telo di tenuta sul lato interno del pannello. A questo punto l'attenzione va posta solo nei punti di correlazione tra gli elementi costruttivi, dove la tenuta viene garantita tramite una nastratura sigillante coprigiunto come detto in precedenza.

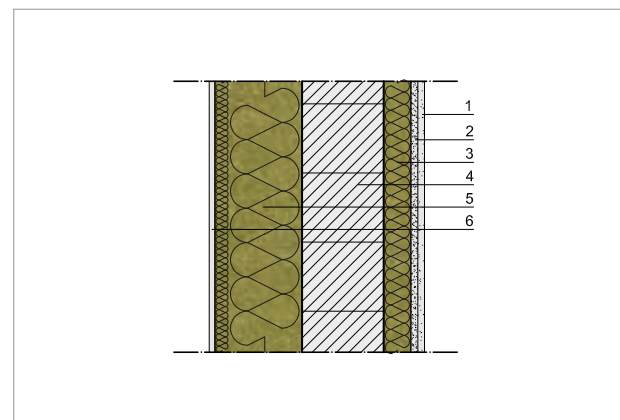
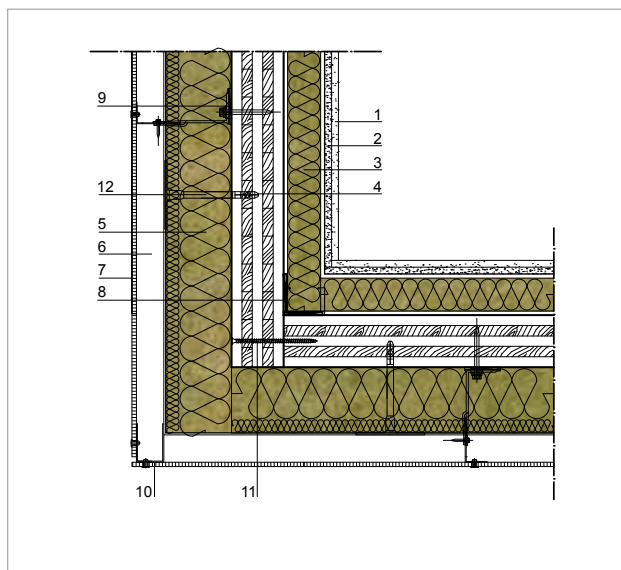



Figura 3.16c - Stratigrafia della parete con il setto in muratura:
1. lastra in cartongesso
2. lastra in gessofibra
3. pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS
4. setto in muratura
5. pannello ROCKWOOL FRONTROCK MAX E
6. intonaco

Stratigrafia	Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m³]	Massa superficiale Ms [kg/m²]	Costante di tempo τ [h]
1 Cartongesso	0.013	0.210	1050	900	**256.90**	**35.00**
2 Gessofibra	0.013	0.360	1000	1180		
3 ROCKWOOL ACOUSTIC PLUS 225	0.050	0.033	1030	70		
4 Laterizio forato	0.150	0.55	1000	1300		
5 ROCKWOOL FRONTROCK MAX E	0.160	0.036	1030	90		
6 Intonaco di calce	0.008	0.680	1000	1620		

Trasmittanza U [W/m²K]	**0.15**
Attenuazione f_d [-]	**0.041**
Sfasamento φ [h]	**12.96**
Trasmittanza termica periodica |Yie| [W/m²K]	**0.006**

Tabella 3.4 - Valori caratteristici della parete con stratigrafia come in figura 3.16c.

3.1.4 Schede tecniche di progetto

LEGENDA

Parete esterna ventilata

1. Lastra in cartongesso sp.12,5 mm
2. Lastra in gessofibra sp.12,5 mm
3. Struttura a singola orditura metallica in alluminio (intercap. 75 mm) riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 60 mm
4. Pannello portante in XLam sp. 95 mm
5. Pannello isolante ROCKWOOL VENTIROCK DUO sp. 120mm
6. Sottostruttura in alluminio di supporto al rivestimento / intercapedine ventilata sp. 50mm *
7. Rivestimento a parete ventilata con lastre composite sottili ROCKPANEL®
8. Nastratura per la tenuta all'aria
9. Profilo in alluminio di supporto del rivestimento a parete ventilata
10. Profilo d'angolo di supporto del rivestimento
11. Vite autoforante per legno per giunzione parete-parete
12. Tassello per l'ancoraggio meccanico del pannello isolante

** Da valutare l'utilizzo di elementi di tenuta al vento, viste le peculiarità della tecnologia in legno.*

PARETE ESTERNA VENTILATA

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	30	cm
Trasmittanza termica	0,16	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,11	-
Sfasamento	11,12	h
Trasmittanza termica periodica	0,02	W/m²K
Massa superficiale	86,10	kg/m²
Costante di tempo	26,19	h

ANALISI TERMICA DELLA PARETE ESTERNA VENTILATA

In una parete ventilata realizzata con pannelli XLam è possibile ottenere valori di trasmittanza termica bassi con un ingombro molto limitato. Con una parete realizzata con doppio strato isolante (vedi figura), interno in pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 60 mm (3) ed esterno in pannello ROCKWOOL VENTIROCK DUO (5), si raggiunge, con uno spessore di appena 30 cm un valore di trasmittanza termica pari a 0,16 W/m²K, di molto inferiore al valore limite definito dal D.P.R. 59/2009, per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,26 W/m²K.

La stessa stratigrafia presenta una costante di tempo pari a 26,19 ore che porta lo sfasamento a superare le 11 ore. La parete risulta sicuramente molto efficiente in regime estivo in quanto il picco di calore si risente nelle ore notturne quando un'opportuna ventilazione naturale può contribuire al raffrescamento dello spazio abitativo.

ANALISI IGROMETRICA

Le pareti multistrato possono essere interessate dal problema della condensa interstiziale: si tratta del fenomeno per cui in una certa porzione di spessore della parete la pressione di vapore p_v supera la pressione di saturazione p_{sat} dell'acqua. Il risultato è un accumulo di vapore che condenserà in questa zona interna alla parete, portando la struttura ad un veloce ed inevitabile degrado.

Facendo riferimento al grafico della verifica di Glaser condotta sulla parete ventilata, si evidenzia che la linea azzurra delle pressioni relative, date dalle condizioni climatiche reali, e la linea rossa delle pressioni di saturazione non s'intersecano in nessun punto interno alla parete. La stratigrafia è disegnata in scala con il valore S_d ovvero lo spessore equivalente d'aria, di ogni singolo materiale per rendere più evidente la valutazione dell'andamento della permeabilità dei vari strati e la loro corretta o meno disposizione.

L'andamento della pressione di saturazione è progressivo, senza zone critiche ed inoltre a partire dal pannello di legno, la sezione presenta un'opportuna stratificazione con un aumento graduale della permeabilità al vapore, tale da permettere un sufficiente passaggio di vapore dall'ambiente più caldo a quello più freddo.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Una delle problematiche rilevanti nelle costruzioni a secco deriva dalla potenziale discontinuità geometrica e costruttiva che si può determinare tra i componenti con conseguente formazione di interruzioni dell'isolamento termico e della capacità di tenuta all'aria. Questo è molto probabile che possa avvenire in particolare nei nodi a due vie ad angolo. Inoltre in tale tipo di giunto c'è un'accentuazione della dispersione termica per geometria, come si vede dal diagramma di flusso termico a fianco. Per tali motivi è opportuno sigillare le linee di giunzione con nastri di tenuta e al contempo predisporre l'isolante senza determinare aree di discontinuità come nel dettaglio costruttivo in figura.

SPUNTI PROGETTUALI

Una delle soluzioni costruttive più ricorrenti per realizzare l'involucro degli edifici a pannelli XLam è quella della parete ventilata, che però necessita di una particolare attenzione per quanto riguarda la tenuta all'aria e al vento. La tenuta all'aria è realizzata tramite nastri adesivi fissati manualmente tra il giunto pannello-pannello.

Un problema da considerare nel caso di parete a rivestimento ventilato è la propagazione degli incendi, che risulta facilitata, sul lato esterno dell'involucro, dalla conformazione stessa della parete. In tal caso risulta vantaggioso l'utilizzo, negli strati a contatto con l'intercapedine d'aria, di materiali con bassa reazione al fuoco. L'isolamento esterno è realizzato con pannelli rigidi ROCKWOOL VENTIROCK DUO (5), posto in opera a giunti sfalsati, tra loro ben aderenti, vincolati meccanicamente al pannello mediante specifiche viti da legno dotate di rondella di plastica di ripartizione del carico.

LEGENDA

Parete esterna ventilata

1. Lastra in cartongesso sp. 12,5 mm
2. Lastra in gessofibra sp. 12,5 mm
3. Struttura a singola orditura metallica in alluminio (intercap. 75 mm) riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 60 mm
4. Pannello portante in XLam sp. 95 mm
5. Pannello isolante ROCKWOOL VENTIROCK DUO sp. 120 mm
6. Sottostruttura in alluminio di supporto al rivestimento / intercapedine ventilata sp. 50 mm *
7. Rivestimento a parete ventilata con lastre composite sottili ROCKPANEL

Solaio intermedio

8. Pavimento in legno duro sp. 15 mm
9. Massetto alleggerito per impianti sp. 60 mm
10. Telo per il contenimento del getto del massetto
11. Pannello isolante ROCKWOOL STEPROCK HD sp. 80 mm
12. Guaina bituminosa
13. Solaio
14. Pannello isolante ROCKWOOL CEILINGROCK sp. 60 mm
15. Tassello per l'ancoraggio meccanico del pannello isolante
16. Connettori hold-down del pannello XLam alla fondazione
17. Impermeabilizzazione, per circa 40 cm dal piano di calpestio
18. Trave di banchina in larice, ancorata al solaio di base
19. Ancorante metallico per fissaggio della trave di banchina al solaio di base
20. Isolamento della zoccolatura
21. Rete di protezione anti-insetti e gocciolatoio profilato in lamiera
22. Strato di protezione dell'isolamento della zoccolatura
23. Battiscopa

** Da valutare l'utilizzo di elementi di tenuta al vento, viste le peculiarità della tecnologia in legno.*

SOLAIO INTERMEDIO

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	48	cm
Trasmittanza termica	0,23	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,01	-
Sfasamento	15,11	h
Trasmittanza termica periodica	0,00	W/m²K
Massa superficiale	732,65	kg/m²
Costante di tempo	28,08	h

ANALISI TERMICA SOLAIO INTERMEDIO

Il solaio del basamento accessibile di un edificio a pannelli XLam può esser realizzato con una soletta in c.a. coibentata con doppio strato isolante (vedi figura), superiormente con pannelli ROCKWOOL STEPROCK HD sp. 80 mm (11) ed inferiormente con pannelli ROCKWOOL CEILINGROCK sp. 60 mm (14). Con tale configurazione si raggiunge, con uno spessore di 48 cm, un valore di trasmittanza termica pari a 0,23 W/m²K, di molto inferiore al valore limite definito dal D.P.R. 59/2009, per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,32 W/m²K.

La stessa stratigrafia presenta una costante di tempo pari a 28,08 ore che porta lo sfasamento a superare le 15 ore. Questo dato ha in realtà scarso valore dal momento che il solaio di base non riceve irraggiamento diretto.

ANALISI IGROMETRICA

La realizzazione del solaio è piuttosto facile dal punto di vista igrometrico, in quanto, sia che esso sia posto contro terra o, come nel caso rappresentato, sopra un locale seminterrato, la temperatura del lato inferiore non è così rigida come quella considerata per le pareti esterne. La verifica di Glaser non risulta quindi particolarmente severa e non vi è formazione di condensa interstiziale. Il valore di S_d è influenzato dalla presenza della guaina bituminosa impermeabile (12), indispensabile per evitare fenomeni di umidità di risalita.

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Le fondazioni di un edificio sono generalmente realizzate in calcestruzzo armato, che, come noto, non ha capacità isolante. È quindi necessario che l'ambiente abitato e riscaldato sia isolato da elementi disperdenti quali le fondazioni. Per risolvere il problema risulta importante sviluppare adeguatamente il dettaglio della giunzione tra esse e le pareti dell'edificio per limitare la dispersione di energia. La regola principale è riuscire a dare continuità agli elementi con buone caratteristiche di isolamento termico ed ottenere quindi idealmente una superficie continua che racchiuda il volume riscaldato. Minori sono le interruzioni di questa superficie, maggiore è il grado di isolamento delle fondazioni e maggiori sono le qualità prestazionali energetiche dell'edificio. La continuità del materiale isolante all'interno della parete XLam e all'estradosso del solaio di base elimina completamente la formazione del ponte termico. Come si vede dal grafico di flusso termico, l'andamento della temperatura all'interno degli strati è omogeneo ed equilibrato in tutte le direzioni, non presentando particolari dispersioni.

SPUNTI PROGETTUALI

Il collegamento tra due strutture di materiali diversi, quali il cemento e il legno, costituisce una zona sensibile dell'edificio. È opportuno che gli elementi portanti in legno non siano mai posti a contatto diretto con il calcestruzzo, posizionando una guaina impermeabile (12) per evitare la risalita capillare. La guaina va risvoltata anche sul lato esterno per circa 40-50 cm (17) per evitare qualsiasi infiltrazione d'acqua. Fino a circa 30-40 cm al di sopra del piano di campagna è opportuno usare un idoneo isolante.

La soluzione costruttiva con pannelli XLam garantisce condizioni ottimali per quanto riguarda l'isolamento acustico relativamente alla composizione e alla stratificazione della parete che, costituendo un sistema massa-molla-massa, favorisce l'abbattimento del suono. Tale comportamento virtuoso ha però il suo punto debole nelle giunzioni, laddove elementi costruttivi rigidi vengono a contatto e conseguentemente possono determinare l'insorgenza di ponti acustici, la cui eliminazione è tuttavia realizzabile con l'introduzione di materiali morbidi espansivi. Nel caso particolare del collegamento legno-calcestruzzo una banda di materiale elastico deve essere interposta sotto al pannello XLam. La parete è finita esternamente come "parete ventilata" con lastre composite sottili ROCKPANEL (7).

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

LEGENDA

Parete esterna intonacata

1. Lastra in cartongesso sp. 12,5 mm
2. Lastra in gessofibra sp. 12,5 mm
3. Struttura a singola orditura metallica in alluminio (intercap. 75 mm) riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 60 mm
4. Pannello portante in XLam sp. 95 mm
5. Pannello isolante ROCKWOOL FRONTROCK MAX E sp. 120 mm
6. Finitura per cappotto su rasante con rete portaintonaco

Solaio di base

7. Pavimento in legno duro sp. 15 mm
8. Massetto alleggerito per impianti sp. 60 mm
9. Telo per il contenimento del getto del massetto
10. Pannello isolante ROCKWOOL STEPROCK HD sp. 80 mm
11. Guaina bituminosa
12. Solaio
13. Pannello isolante ROCKWOOL CEILINGROCK sp. 60 mm
14. Tassello per l'ancoraggio meccanico del pannello isolante
15. Connettori hold-down del pannello XLam alla fondazione e nastratura a tenuta all'aria
16. Impermeabilizzazione, per circa 40 cm dal piano di calpestio
17. Trave di banchina in larice, ancorata al solaio di base
18. Ancorante metallico per fissaggio della trave di banchina al solaio di base
19. Isolamento della zoccolatura
20. Profilo sagomato di base per cappotto con gocciolatoio e rete portaintonaco
21. Battiscopa

PARETE ESTERNA INTONACATA

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	32	cm
Trasmittanza termica	0,16	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,10	-
Sfasamento	12,05	h
Trasmittanza termica periodica	0,02	W/m²K
Massa superficiale	124,50	kg/m²
Costante di tempo	28,48	h

ANALISI TERMICA PARETE INTONACATA

In una parete intonacata realizzata con pannelli XLam è possibile ottenere valori di trasmittanza termica bassi con un ingombro molto limitato. Con una parete realizzata con doppio strato isolante (vedi figura), interno in pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 60 mm (3) ed esterno in pannello ROCKWOOL FRONTROCK MAX E (5), si raggiunge, con uno spessore di appena 32 cm un valore di trasmittanza termica pari a 0,16 W/m²K, di molto inferiore al valore limite definito dal D.P.R. 59/2009, per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,26 W/m²K. La stessa stratigrafia presenta una costante di tempo pari a 28,48 ore che porta lo sfasamento ad avvicinare le 12 ore. Questo avviene anche grazie al fatto che il pannello XLam possiede un alto valore di calore specifico ed una buona resistenza termica, che compensano

la massa ridotta. La parete risulta sicuramente molto efficiente in regime estivo in quanto il picco di calore si risente nelle ore notturne quando un'opportuna ventilazione naturale può contribuire al raffrescamento dello spazio abitativo. Il contributo allo smorzamento è dato congiuntamente dagli strati esterni e dalle proprietà fisiche del pannello multistrato in legno.

ANALISI IGROMETRICA

Dalla verifica di Glaser condotta sulla parete nel mese con condizioni più restrittive, collocando l'edificio in zona F, non si rileva formazione di condensa interstiziale. Facendo riferimento al grafico si evidenzia che la linea azzurra delle pressioni relative, date dalle condizioni climatiche reali, e la linea rossa delle pressioni di saturazione non s'intersecano in nessun punto interno alla parete. L'andamento della pressione di saturazione è progressivo, senza zone critiche ed inoltre a partire dal pannello di legno (4), la sezione presenta un aumento graduale della permeabilità al vapore, cosa molto importante per garantire la traspirazione e l'equilibrio igrometrico delle strutture.

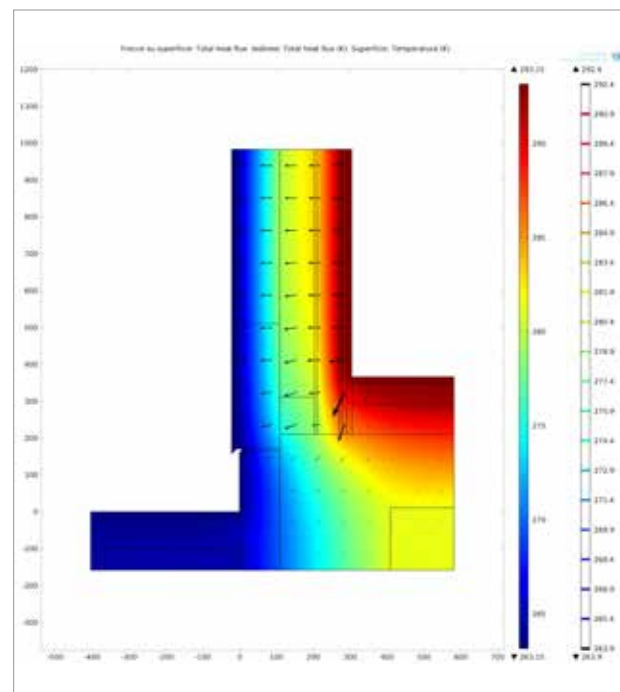
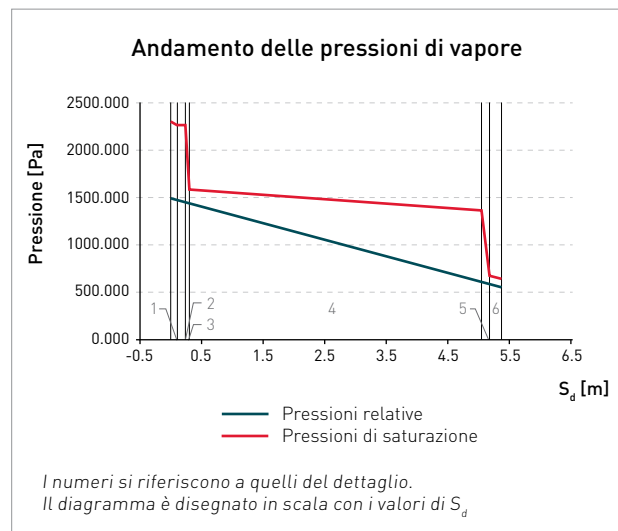
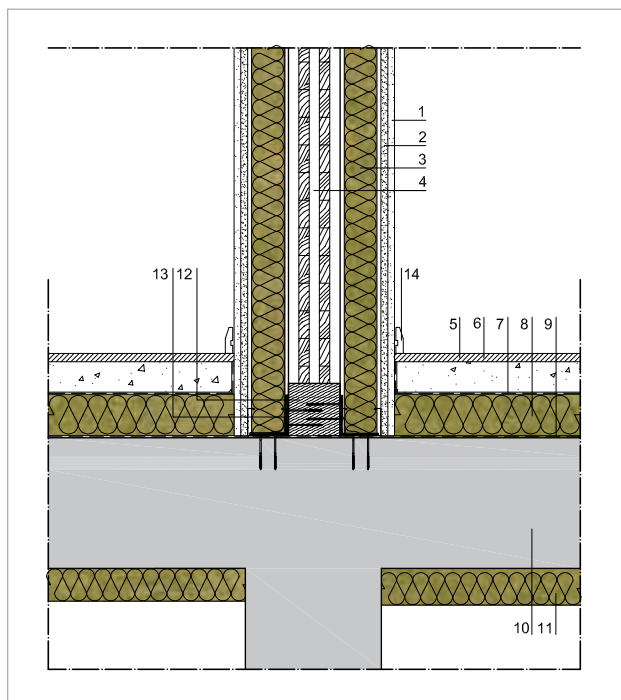
FLUSSO TERMICO DEL NODO

Nella correlazione di base delle pareti esterne al solaio bisogna prestare attenzione a creare una superficie continua che racchiuda l'ambiente riscaldato dagli elementi disperdenti, dando continuità agli elementi con buone capacità isolanti, e separandolo dagli elementi disperdenti, quali le fondazioni. La continuità del materiale isolante all'interno della parete XLam e all'estradosso del solaio di base elimina completamente la formazione del ponte termico. Come si vede dal grafico di flusso termico, l'andamento della temperatura all'interno degli strati è omogeneo ed equilibrato in tutte le direzioni, non presentando particolari dispersioni.

SPUNTI PROGETTUALI

L'attacco a terra di un edificio in legno è particolarmente sensibile per quanto riguarda il contenuto di umidità relativa nei componenti lignei e in quelli isolanti. Per i primi sarà sufficiente un'opportuna guaina impermeabile posta fra il pannello in XLam e il masso fondale; per i secondi sarà necessario predisporre uno zoccolo di almeno 40-50 cm in materiale idoneo, che nel caso di interruzione determinata dagli appositi profili metallici per applicare il cappotto, dovrà essere opportunamente sigillato per rispristinare la continuità. Il potere isolante della finitura esterna del cappotto ad intonaco evita l'introduzione di eventuali barriere al vento.

Lo strato isolante, realizzato con pannelli ROCKWOOL FRONTROCK MAX E sp. 120 mm, è correlato alla parete XLam per il tramite di tasselli che ne garantiscono l'ancoraggio meccanico. Uno strato di collante posto tra il pannello isolante e la parete XLam migliora l'aderenza tra i due materiali e ne garantisce un miglior comportamento.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

LEGENDA

Parete divisoria di due unità abitative

1. Lastra in cartongesso sp. 12,5 mm
2. Lastra in gessofibra sp. 12,5 mm
3. Struttura a singola orditura metallica in alluminio (intercap.75 mm) riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 60 mm
4. Struttura portante in XLam sp. 95 mm

Solaio di base

5. Pavimento in legno duro sp. 15 mm
6. Massetto alleggerito per impianti sp. 60 mm
7. Telo per il contenimento del getto del massetto
8. Pannello isolante ROCKWOOL STEPROCK HD sp. 80 mm
9. Guaina bituminosa
10. Solaio
11. Pannello isolante ROCKWOOL CEILINGROCK sp. 60 mm
12. Trave di banchina in larice, ancorata al solaio di base
13. Angolari metallici di giunzione dei pannelli e nastratura per la tenuta all'aria
14. Battiscopa

PARETE DIVISORIA

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	27	cm
Trasmittanza termica	0,21	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,13	-
Sfasamento	11,17	h
Trasmittanza termica periodica	0,03	W/m²K
Massa superficiale	107,90	kg/m²
Costante di tempo	20,47	h

ANALISI TERMICA PARETE DIVISORIA

La parete divisoria deve soddisfare delle prestazioni termiche se pensata in termini di separazione fra diverse unità abitative, in special modo se una di queste non viene abitata tutto l'anno e può essere quindi considerata come luogo freddo. Con una parete realizzata con doppia coibentazione con pannelli ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 60 mm (3) si raggiunge uno spessore di 27 cm e un valore di trasmittanza termica pari a 0,21 W/m²K. In questo caso non vi sono ovviamente limiti normativi da seguire, poiché si tratta di un componente costruttivo interno, per cui il calcolo dello sfasamento, pari a circa 11 ore, e della costante di tempo, di 20,58 ore, risulta poco indicativo e viene riportato solo per completezza.

ANALISI IGROMETRICA

La verifica di Glaser è stata condotta ipotizzando che uno dei due locali, separati dalla partizione verticale, non sia riscaldato e si trovi quindi ad una temperatura di 12° C. Come si evince dal grafico, in quanto non vi è un ambiente propriamente freddo, la verifica è facilmente superata e non si rileva formazione di condensa interstiziale. La linea azzurra delle pressioni relative, date dalle condizioni climatiche reali, non interseca la linea rossa delle pressioni di saturazione in nessun punto interno alla parete.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

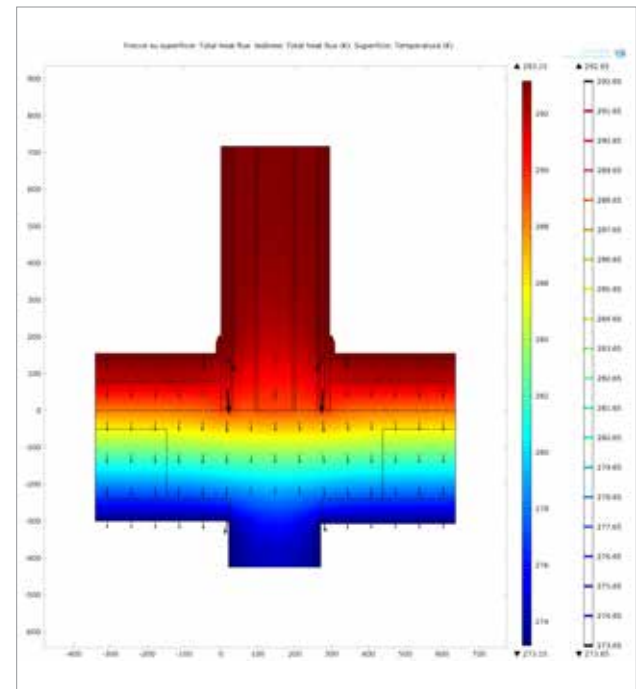
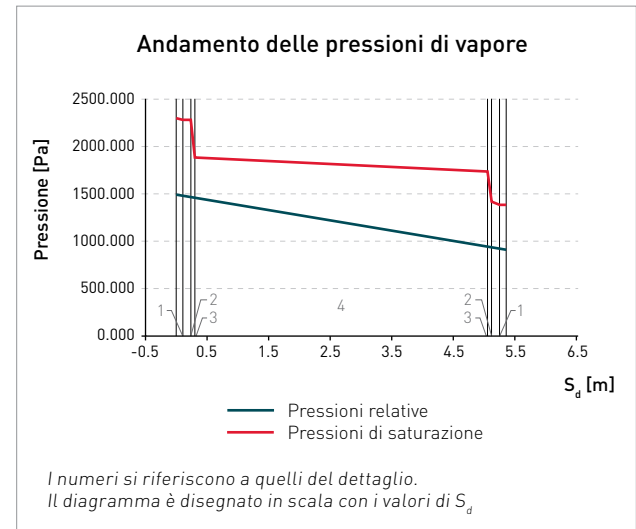
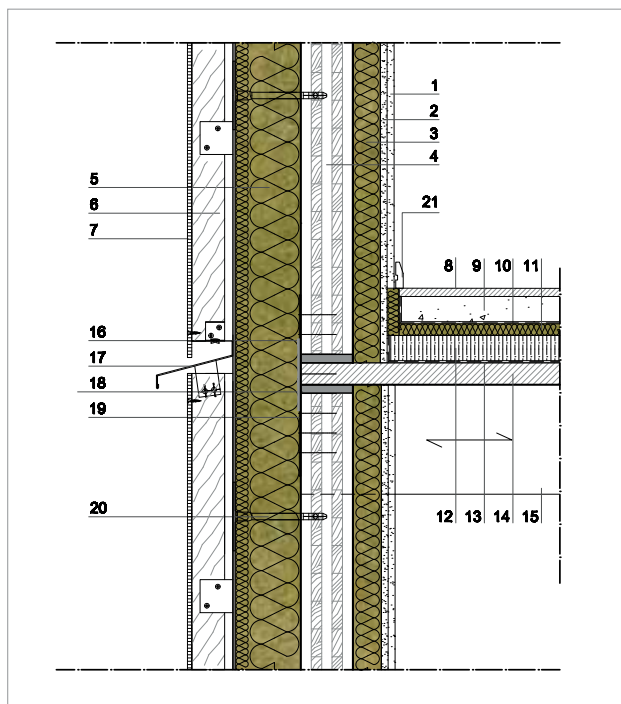
FLUSSO TERMICO DEL NODO

Nel diagramma di flusso termico del nodo, si può notare come vi sia una debole dispersione termica in corrispondenza dell'interruzione dell'isolamento di base da parte delle lastre di cartongesso. Per il resto, l'andamento delle isoterme è molto uniforme e si evince come il doppio isolamento, sia sul lato superiore che inferiore del solaio di base, risulti decisamente efficace nel contenere il calore all'interno dello spazio abitato.

SPUNTI PROGETTUALI

La parete divisoria portante quando definisce la separazione tra due unità abitative deve possedere caratteristiche di taglio termico e acustico per evitare dispersioni di calore nel caso in cui una sola delle unità sia riscaldata e propagazione di rumori tra ambienti differenti.

Rilevante dovrà essere la sua eventuale funzione di compartimentazione in caso di incendio. A tal fine, le intercapedini per il passaggio degli impianti dovranno essere coibentate con lana di roccia. Tale soluzione risulterà vantaggiosa anche ai fini del miglioramento della prestazione acustica nel caso che si usi un isolante dedicato come il pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 60 mm [3].

Se le pareti divisorie vengono realizzate con una doppia parete, composta da due pannelli XLam, la soluzione costruttiva ottimale è quella di prevedere un'intercapedine tra di loro in cui porre la coibentazione con materiale fibroso. In tal modo verrà raggiunto un duplice scopo: miglioramento dell'isolamento acustico e della sicurezza alla propagazione del fuoco.

LEGENDA

Parete esterna ventilata

1. Lastra in cartongesso sp. 12,5 mm
2. Lastra in gessofibra sp. 12,5 mm
3. Struttura a orditura in legno riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 50 mm
4. Pannello portante in XLam sp. 95 mm
5. Pannello isolante ROCKWOOL VENTIROCK DUO sp. 120 mm
6. Sottostruttura a montanti in legno di supporto al rivestimento / intercapedine ventilata sp. 50 mm *
7. Rivestimento a parete ventilata con lastre composite sottili ROCKPANEL

Solaio intermedio

8. Pavimento in legno duro sp. 15 mm
9. Massetto in c.a. alleggerito sp. 50 mm
10. Telo per il contenimento del getto del massetto
11. Pannello ROCKWOOL STEPROCK LD per isolamento acustico anticalpestio sp. 20 mm
12. Riempimento con materiale granulare autolivellante sp. 50 mm
13. Telo per il contenimento del massetto
14. Tavolato in legno di abete giuntato maschio-femmina
15. Trave in legno lamellare portante del solaio
16. Nastratura esterna delle giunzioni dei pannelli XLam
17. Gocciolatoio profilato in lamiera per interruzione dell'intercapedine di ventilazione
18. Materiale per taglio acustico
19. Piastre chiodate di giunzione fra pannelli XLam di parete
20. Tassello per l'ancoraggio meccanico del pannello isolante
21. Battiscopa

** Da valutare l'utilizzo di elementi di tenuta al vento, viste le peculiarità della tecnologia in legno.*

SOLAIO INTERMEDIO

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	17	cm
Trasmittanza termica	0,49	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,54	-
Sfasamento	6,21	h
Trasmittanza termica periodica	0,27	W/m²K
Massa superficiale	140,00	kg/m²
Costante di tempo	4,90	h

ANALISI TERMICA SOLAIO INTERMEDIO

Un solaio intermedio realizzato con un tavolato in legno (14) poggiato su travetti a vista raggiunge valori di trasmittanza termica piuttosto elevati, pari a circa 0,5 W/m²K. Questa soluzione è quindi consigliata quando il solaio è una componente interna e non ha funzione di separazione fra diverse unità abitative. L'ingombro del solaio è molto limitato, pari a 17 cm. Il calcolo dello sfasamento e della costante di tempo ha valore solo indicativo dal momento che la componente si pone all'interno dell'involucro e non subisce quindi le sollecitazioni termiche esterne.

ANALISI IGROMETRICA

Per effettuare la verifica igrometrica della stratigrafia del solaio, si è ipotizzato che il locale sottostante non fosse riscaldato e si trovasse quindi ad una temperatura di 12° C. Facendo riferimento al grafico si evidenzia come la verifica di Glaser sia facilmente soddisfatta dal momento che la linea azzurra delle pressioni relative, date dalle condizioni climatiche reali, e la linea rossa delle pressioni di saturazione non s'intersecano in nessun punto interno alla parete. Questo è dovuto al fatto che non siamo in presenza di un ambiente effettivamente freddo e quindi le problematiche legate alla condensa sono trascurabili.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Data la continuità del materiale isolante esterno, la correlazione parete esterna-solaio interno non presenta particolari criticità per quanto riguarda i fenomeni di dispersione termica e l'andamento delle isoterme si mantiene ovunque uniforme, senza punti di criticità.

SPUNTI PROGETTUALI

Nel caso che il solaio sia realizzato con un'orditura di elementi lineari con sovrapposto tavolato/pannelli di compensato/pannelli OSB, la correlazione in verticale tra i pannelli XLam di parete avviene con piastre chiodate esterne e angolari sull'angolo interno.

Anche se il solaio separa ambienti di una stessa unità abitativa sarà opportuno che non trasmetta rumori dovuti al calpestio. A tal fine una soluzione corretta e con tempi di realizzazione contenuti è l'introduzione di un pannello ROCKWOOL STEPROCK LD sp. 20 mm (11).

L'intercapedine della parete ventilata è opportuno che sia interrotta a livello di interpiano in modo che sia garantito il corretto flusso d'aria, dal basso verso l'alto, che è fondamentale per il regolare funzionamento di una parete ventilata. In tal caso sarà necessario predisporre opportuni gocciolatoi per evitare l'ingresso dell'acqua nell'intercapedine.

Per garantire la tenuta all'aria nella correlazione fra parete e solaio è necessario sigillare la giunzione con nastri duttili applicati all'interno della parete ed eventualmente introducendo ulteriori speciali guarnizioni ad espansione, applicate nella zona di contatto, che spesso coincidono con gli elementi deputati al taglio acustico. La nastratura può essere integrata da teli o membrane che consentano la tenuta all'aria e la traspirazione delle strutture nei confronti del vapore.

La parete è finita esternamente come "parete ventilata" con lastre composite sottili ROCKPANEL (7).

LEGENDA

Parete esterna ventilata

1. Lastra in cartongesso sp. 12,5 mm
2. Lastra in gessofibra sp. 12,5 mm
3. Struttura a singola orditura metallica in alluminio (intercap. 75 mm) riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 60 mm
4. Pannello portante in XLam sp. 95 mm
5. Pannello isolante ROCKWOOL VENTIROCK DUO sp. 120 mm
6. Sottostruttura in alluminio di supporto al rivestimento / intercapedine ventilata sp. 50 mm *
7. Rivestimento a parete ventilata con lastre composite sottili ROCKPANEL

Solaio intermedio

8. Pavimento in Legno duro sp. 15 mm
9. Massetto alleggerito per impianti sp. 60 mm
10. Telo per il contenimento del getto del massetto
11. Pannello ROCKWOOL STEPROCK LD per isolamento acustico anticalpestio sp. 20 mm
12. Pannello portante in XLam sp. 140 mm
13. Pannello ROCKWOOL 220 sp. 50 mm
14. Lastra in gessofibra 12,5 mm
15. Intelaiatura in legno di supporto del controsoffitto con elementi in materiale resiliente per evitare trasmissione di vibrazioni
16. Tassello per l'ancoraggio meccanico del pannello isolante
17. Angolari metallici di giunzione dei pannelli e nastratura per la tenuta all'aria
18. Nastratura esterna delle giunzioni dei pannelli XLam
19. Rete di protezione anti-insetti
20. Gocciolatoio profilato in Lamiera per interruzione dell'intercapedine di ventilazione
21. Materiale per taglio acustico
22. Battiscopa

** Da valutare l'utilizzo di elementi di tenuta al vento, viste le peculiarità della tecnologia in legno.*

SOLAIO INTERMEDIO

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	30	cm
Trasmittanza termica	0,29	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,08	-
Sfasamento	14,37	h
Trasmittanza termica periodica	0,02	W/m²K
Massa superficiale	226,20	kg/m²
Costante di tempo	36,75	h

ANALISI TERMICA SOLAIO INTERMEDIO

Un solaio intermedio realizzato con pannelli portanti XLam (12) raggiunge buoni valori di trasmittanza termica, pari a circa 0,29 W/m²K, con uno spessore non eccessivo di 30 cm.

Il calcolo dello sfasamento e della costante di tempo, in questo caso specifico, non è particolarmente significativo dal momento che la componente si pone all'interno dell'involucro e non subisce quindi le sollecitazioni termiche esterne.

ANALISI IGROMETRICA

Per effettuare la verifica igrometrica della stratigrafia del solaio, si è ipotizzato che il locale sottostante non fosse riscaldato e si trovasse quindi ad una temperatura di 12° C. Facendo riferimento al grafico si evidenzia come la verifica di Glaser sia facilmente soddisfatta dal momento che la linea azzurra delle pressioni relative, date dalle condizioni climatiche reali, e la linea rossa delle pressioni di saturazione non s'intersecano in nessun punto interno alla parete. Questo è dovuto al fatto che non siamo in presenza di un ambiente effettivamente freddo e quindi le problematicità legate alla condensa sono trascurabili. Da notare come, nonostante l'elevato valore di S_d del pannello XLam (12), gli strati sui lati sono posizionati con un aumento della traspirabilità progressivo, in modo da garantire l'equilibrio igrometrico della struttura.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Nella correlazione parete-solaio-parete non vi sono difficili problematiche relative al ponte termico per quanto riguarda la parte esterna, non essendoci soluzione di continuità del materiale isolante. Eventuali criticità possono insorgere all'interno, se non si ha materiale isolante sia sulla parete che all'intradosso e all'estradosso del solaio. Nel caso che una di queste superfici non sia isolata, nascono squilibri nei flussi termici che si concretizzano come ponte termico.

Nel dettaglio costruttivo in figura il ponte termico è stato risolto completamente posizionando il materiale isolante sul lato interno delle pareti e sulle due facce del solaio. Il grafico del flusso termico dimostra l'efficacia della soluzione: le isoterme rimangono omogenee e parallele nello strato isolante, non subendo particolari distorsioni.

SPUNTI PROGETTUALI

Il solaio intermedio in un edificio in XLam può essere composto da un pannello multistrato in legno (12) il cui spessore è variabile in funzione dei calcoli statici. Il rumore da calpestio è risolvibile con un pannello ROCKWOOL STEPROCK LD sp. 20 mm (11) che in una soluzione costruttiva corretta, per evitare la trasmissione del suono per fiancheggiamento, va installato insieme ad una fascia perimetrale di taglio acustico o facendo un risvolto del materassino stesso, da rifilare una volta realizzato il pavimento (8).

Nel caso in cui il solaio separi due unità abitative oltre al rumore da calpestio sarà necessario attenuare i rumori aerei. A tal fine le buone prestazioni acustiche ottenute sono migliorabili con un controsoffitto coibentato con un pannello ROCKWOOL 220 (13) a media densità. I supporti meccanici del controsoffitto dovrebbero venir isolati con tappi in gomma o materiale elastico (15) per il taglio acustico e per evitare la trasmissione di vibrazioni. Inoltre, da un punto di vista termico, scegliere di isolare anche le strutture interne è utile per la esatta contabilizzazione dei consumi reali di ciascuna unità abitativa.

LEGENDA

Parete esterna ventilata

1. Lastra in cartongesso sp. 12,5 mm
2. Lastra in gessofibra sp. 12,5 mm
3. Struttura a orditura in legno riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 50 mm
4. Pannello portante in XLam sp. 95 mm
5. Pannello isolante ROCKWOOL VENTIROCK DUO sp. 120 mm
6. Sottostruttura in alluminio di supporto al rivestimento / intercapedine ventilata sp. 50mm *
7. Rivestimento a parete ventilata con lastre composite sottili ROCKPANEL

Solaio intermedio

8. Pavimento in legno duro sp. 15 mm
9. Massetto alleggerito per impianti sp. 60 mm
10. Telo per il contenimento del getto del massetto
11. Pannello ROCKWOOL STEPROCK LD per isolamento acustico anticalpestio sp. 20 mm
12. Pannello portante in XLam sp. 140 mm
13. Pannello ROCKWOOL 220 sp. 50 mm
14. Lastra in gessofibra 12,5 mm
15. Nastratura esterna delle giunzioni dei pannelli XLam
16. Angolari metallici di giunzione dei pannelli e nastratura per la tenuta all'aria
17. Materiale per taglio acustico
18. Tassello per l'ancoraggio meccanico del pannello isolante
19. Battiscopa

** Da valutare l'utilizzo di elementi di tenuta al vento, viste le peculiarità della tecnologia in legno.*

SOLAIO ESTERNO

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	37	cm
Trasmittanza termica	0,18	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,06	-
Sfasamento	15,92	h
Trasmittanza termica periodica	0,01	W/m²K
Massa superficiale	229,35	kg/m²
Costante di tempo	43,89	h

ANALISI TERMICA SOLAIO ESTERNO

Un solaio esterno realizzato con pannelli portanti XLam (12) raggiunge buoni valori di trasmittanza termica, pari a circa 0,18 W/m²K, con uno spessore di 37 cm. Lo sfasamento pari a circa 16 ore riduce in misura notevole l'escursione termica sulla faccia interna della sezione.

ANALISI IGROMETRICA

Facendo riferimento al grafico si evidenzia come la verifica di Glaser sia facilmente soddisfatta dal momento che la linea azzurra delle pressioni relative, date dalle condizioni climatiche reali, e la linea rossa delle pressioni di saturazione non s'intersecano in nessun punto interno alla parete.

Da notare come, nonostante l'elevato valore di S_d del pannello XLam (12), gli strati sui lati sono posizionati con un aumento della traspirabilità progressivo, in modo da garantire l'equilibrio igrometrico della struttura.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Una delle problematiche rilevanti nelle costruzioni a secco deriva dalla potenziale discontinuità geometrica e costruttiva che si può determinare tra i componenti con conseguente formazione di interruzioni dell'isolamento termico e della capacità di tenuta all'aria. Questo è molto probabile che possa avvenire in particolare nei nodi a due vie ad angolo.

Inoltre in tale tipo di giunto c'è un'accentuazione della dispersione termica per geometria, come si vede dal diagramma di flusso termico a fianco. Per tali motivi è opportuno sigillare le linee di giunzione con nastri di tenuta e al contempo predisporre l'isolante senza determinare aree di discontinuità come nel dettaglio costruttivo in figura.

SPUNTI PROGETTUALI

In un edificio in XLam la realizzazione di uno sbalzo può essere ottenuta con la prosecuzione del pannello di solaio oltre il bordo esterno del pannello di parete. La correlazione tra i due avviene, come di solito, con viti e angolari previa interposizione di materiale resiliente per limitare la propagazione delle vibrazioni. L'uso del pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 50 mm (13) posto nell'intercapedine generata dalla finitura interna in cartongesso migliora l'isolamento acustico delle pareti esterne mentre il pannello ROCKWOOL STEPROCK LD sp. 20 (10) risolve il problema dei rumori da calpestio.

Il ponte termico che si potrebbe generare per la sporgenza del solaio è risolvibile con la continuità dell'isolamento termico esterno realizzato con pannello ROCKWOOL VENTIROCK DUO sp. 120 mm (5) che per le sue caratteristiche è utilizzabile nella soluzione con parete ventilata come mostrato in figura. L'isolante sul lato interno, con pannello ROCKWOOL 220 sp. 50 (3), oltre che a migliorare le prestazioni acustiche dell'involucro darà il suo contributo anche da un punto di vista termico.

LEGENDA

Parete esterna ventilata

1. Lastra in cartongesso sp. 12,5 mm
2. Lastra in gessofibra sp. 12,5 mm
3. Struttura a orditura in legno riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 50 mm
4. Pannello portante in XLam sp. 95 mm
5. Pannello isolante ROCKWOOL VENTIROCK DUO sp. 120 mm
6. Sottostruttura in alluminio di supporto al rivestimento / intercapedine ventilata sp. 50 mm *
7. Rivestimento a parete ventilata con lastre composite sottili ROCKPANEL

Solaio intermedio

8. Pavimento in legno duro sp. 15 mm
9. Massetto alleggerito per impianti sp. 60 mm
10. Telo per il contenimento del getto del massetto
11. Pannello ROCKWOOL STEPROCK LD per isolamento acustico anticalpestio sp. 20 mm
12. Struttura portante in XLam sp. 140 mm
13. Pannello ROCKWOOL 220 sp. 50 mm
14. Lastra in gessofibra 12,5 mm
15. Taglio termico del cassonetto sp. 80 mm
16. Cassonetto zincato per frangisole con tavola anteriore e isolamento posteriore
17. Rete di protezione anti-insetti e gocciolatoio profilato in lamiera
18. Serramento in abete
19. Elemento di chiusura perimetrale in legno
20. Frangisole a lamelle orientabili
21. Protezione metallica del serramento
22. Scossalina per l'allontanamento dell'acqua piovana dal piano di facciata
23. Angolari metallici di giunzione dei pannelli e nastratura per la tenuta all'aria
24. Nastratura esterna delle giunzioni dei pannelli XLam
25. Materiale per taglio acustico
26. Tassello per l'ancoraggio meccanico del pannello isolante
27. Battiscopa
28. Controdavanzale

PARETE VENTILATA

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	30	cm
Trasmittanza termica	0,16	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,11	-
Sfasamento	11,12	h
Trasmittanza termica periodica	0,02	W/m²K
Massa superficiale	86,10	kg/m²
Costante di tempo	26,19	h

** Da valutare l'utilizzo di elementi di tenuta al vento, viste le peculiarità della tecnologia in legno.*

ANALISI TERMICA PARETE VENTILATA

In una parete ventilata realizzata con pannelli XLam è possibile ottenere valori di trasmittanza termica bassi con un ingombro molto limitato. Con una parete realizzata con doppio strato isolante (come in figura), si

raggiunge, con uno spessore di 30 cm, un valore di trasmittanza termica pari a 0,16 W/m²K, di molto inferiore al valore limite definito dal D.P.R. 59/2009, per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,26 W/m²K. La stessa stratigrafia presenta una costante di tempo pari a 26,19 ore che porta lo sfasamento a superare le 11 ore. La parete risulta sicuramente molto efficiente in regime estivo in quanto il picco di calore si risente nelle ore notturne quando un'opportuna ventilazione naturale può contribuire al raffrescamento dello spazio abitativo.

ANALISI IGROMETRICA

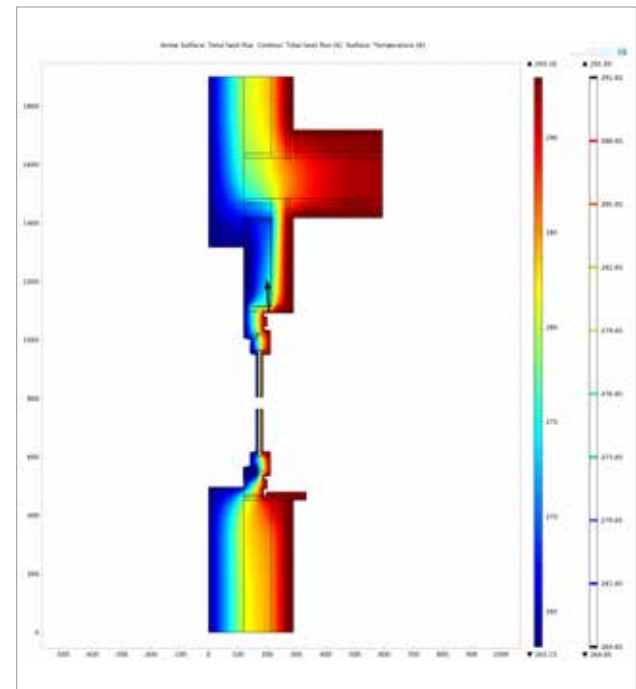
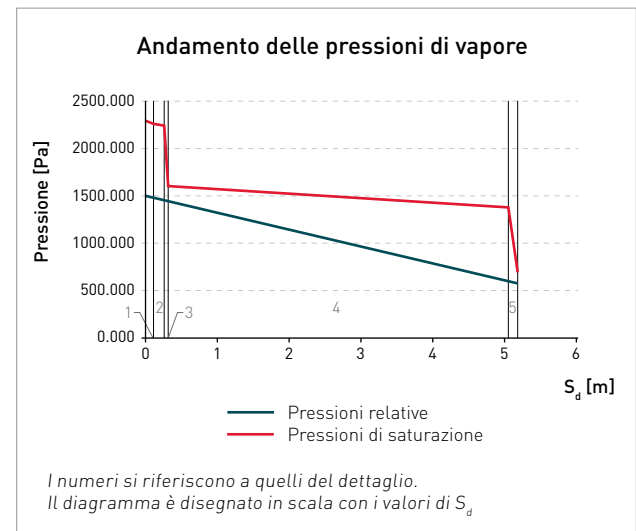
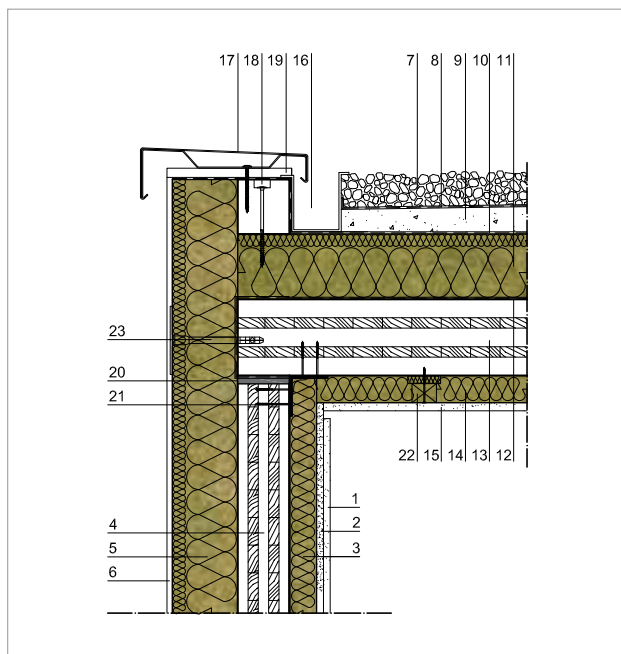
Facendo riferimento al grafico della verifica di Glaser condotta sulla parete ventilata, si evidenzia che la linea azzurra delle pressioni relative, date dalle condizioni climatiche reali, e la linea rossa delle pressioni di saturazione non s'intersecano in nessun punto interno alla parete. L'andamento della pressione di saturazione è progressivo, senza zone critiche ed inoltre a partire dal pannello di legno, la sezione presenta un'opportuna stratificazione con un aumento graduale della permeabilità al vapore, tale da permettere un sufficiente passaggio di vapore dall'ambiente più caldo a quello più freddo.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Generalmente la giunzione di finestra della parete esterna è uno dei punti più delicati per quanto riguarda il fenomeno dei ponti termici, poiché la finestra costituisce la parte più sottile dell'involucro e, composta per lo più da vetro, rappresenta sicuramente un elemento disperdente. Come prima cosa è necessario che gli elementi costituenti il nodo abbiano un basso valore di trasmittanza termica U (infissi altamente performanti, vetri basso emissivi), così da ridurre la quantità di calore disperso. Tuttavia, grande importanza ricopre la posa in opera del serramento, che deve garantire il corretto isolamento del controtelaio e il taglio termico del davanzale. Al posto di un davanzale passante, si considerano due elementi, uno esterno (davanzale o profilo in alluminio che raccorda il serramento al cappotto, 22) ed uno interno (controdavanzale, 28), tra i quali va poi posizionato materiale isolante, in modo da creare una netta separazione tra i manufatti e limitare così il ponte termico.

SPUNTI PROGETTUALI

L'inserimento del serramento in un edificio XLam è in genere fatto nei vani finestra predisposti nel centro di taglio. La precisione nella realizzazione dei vani consente un facile montaggio. Come sempre in tutti i punti nodali è però necessaria una certa accortezza nella realizzazione del dettaglio per evitare ponti termici ed acustici. A tal fine è opportuno che la finitura al bordo del serramento sia ben curata con l'introduzione di bande morbide con funzione anche fonoisolante. La parete, del tipo ventilato, sarà isolata termicamente sul lato esterno con un pannello ROCKWOOL VENTIROCK DUO sp.120 mm (5) e acusticamente sul lato interno con un pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS 50 mm (3) Per i rumori di calpestio il solaio avrà un isolamento con pannello ROCKWOOL STEPROCK LD (11) all'estradosso, coadiuvato da un pannello ROCKWOOL 220 sp.50 mm (13) all'intradosso.

LEGENDA

Parete esterna intonacata

1. Lastra in cartongesso sp. 12,5 mm
2. Lastra in gessofibra sp. 12,5 mm
3. Struttura a orditura in legno riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 50 mm
4. Pannello portante in XLam sp. 95 mm
5. Pannello isolante ROCKWOOL FRONTROCK MAX E sp. 120 mm
6. Finitura per cappotto su rasante con rete portaintonaco

Solaio di copertura

7. Ghiaia sp. 60 mm
8. Guaina impermeabile traspirante
9. Soletta debolmente armata per pendenza sp. 40 mm minimo
10. Telo di contenimento del getto della soletta
11. Pannello ROCKWOOL HARDROCK MAX sp. 120 mm
12. Elemento di controllo del vapore
13. Pannello portante in XLam sp. 140 mm
14. Pannello ROCKWOOL 220 sp. 50 mm
15. Lastra in cartongesso sp. 12,5 mm
16. Canalina di drenaggio delle acque meteoriche
17. Scossalina in lamiera metallica sagomata
18. Segato perimetrale
19. Tavola di chiusura e supporto per la scossalina
20. Materiale per taglio acustico
21. Angolari metallici di giunzione dei pannelli e nastratura per la tenuta all'aria
22. Intelaiatura in legno di supporto del controsoffitto con elementi in materiale resiliente per evitare trasmissione di vibrazioni
23. Tassello per l'ancoraggio meccanico del pannello isolante

COPERTURA PIANA

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	43	cm
Trasmittanza termica	0,17	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,04	-
Sfasamento	17,47	h
Trasmittanza termica periodica	0,01	W/m²K
Massa superficiale	296,76	kg/m²
Costante di tempo	53,28	h

ANALISI TERMICA COPERTURA PIANA

In una copertura realizzata con pannelli XLam è possibile ottenere valori di trasmittanza termica bassi con un ingombro molto limitato. Un solaio di copertura piana realizzato con un doppio strato isolante (vedi figura), all'intradosso in pannello ROCKWOOL 220 sp.50 mm (14) ed all'estradosso in pannelli ROCKWOOL HARDROCK MAX sp.120 mm (11), si raggiunge, con uno spessore di 43 cm un valore di trasmittanza termica pari a 0,17 W/m²K, di molto inferiore al valore limite definito dal D.P.R. 59/2009, per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,23 W/m²K.

La stessa stratigrafia presenta una costante di tempo pari a 53,28 ore che porta lo sfasamento a superare le 17 ore. La copertura risulta sicuramente molto efficiente in regime estivo, caratteristica molto importante in quanto essa risulta soggetta a forte irraggiamento diretto.

ANALISI IGROMETRICA

La copertura piana presenta la necessità, più che in altri punti nodali, di garantire sia un buon equilibrio igrometrico della stratigrafia sia la totale impermeabilità agli agenti esterni. Tale esigenza è stata risolta con l'interposizione di una guaina/freno a vapore in corrispondenza del lato caldo dello strato isolante (12) e di una guaina impermeabile traspirante (8) posta sopra la soletta armata. L'andamento della pressione di saturazione è fortemente influenzato soprattutto dalla prima di tali guaine. Vi è un brusco abbassamento della pressione nello strato isolante (11), a cui bisogna prestare particolare attenzione. La verifica risulta ugualmente soddisfatta.

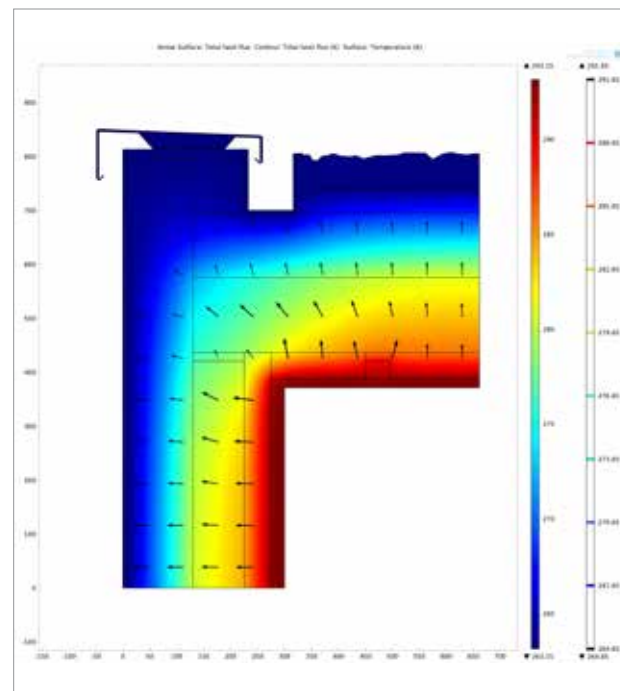
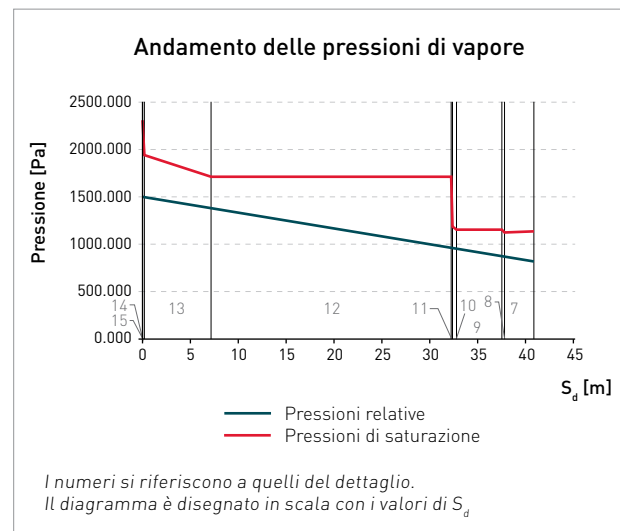
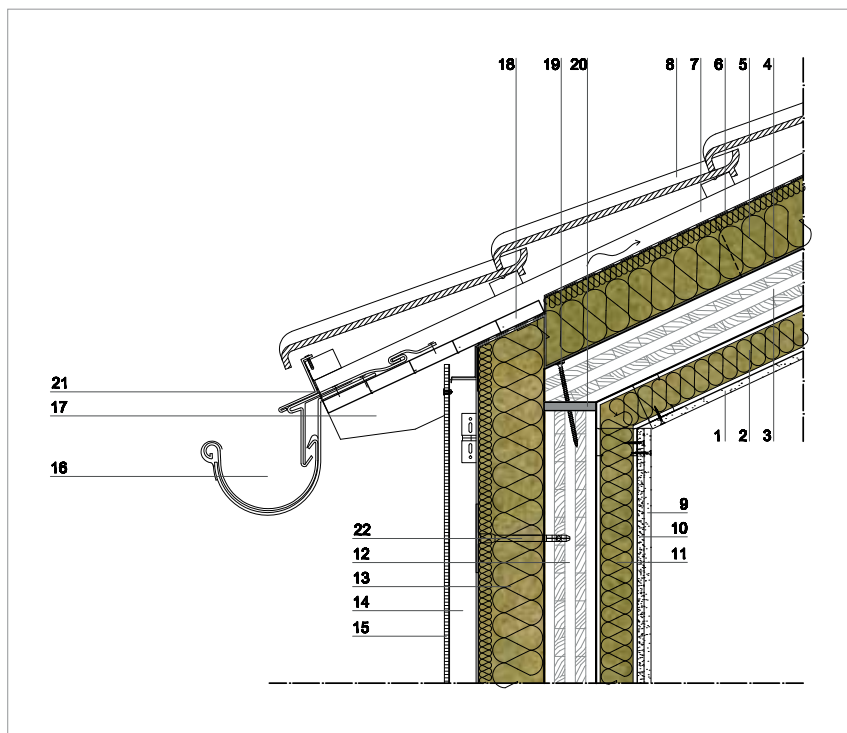
I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Il nodo non presenta particolare criticità dal punto di vista del fenomeno del ponte termico. La continuità dello strato isolante esterno è piuttosto semplice da garantire e l'andamento delle isoterme risulta quindi uniforme e senza dispersioni termiche evidenti o puntuali. Si può notare come vi sia un'accentuazione del flusso termico in generale, dovuta alla conformazione geometrica a spigolo, ma come essa sia controllata e non problematica.

SPUNTI PROGETTUALI

La soluzione architettonica con il tetto piano presenta molte difficoltà progettuali per quanto riguarda la finitura all'estradosso, il convogliamento dell'acqua, l'isolamento termico e acustico. Aspetti questi che possono richiedere maggiore attenzione se la copertura è praticabile più che semplicemente calpestabile.

Una delle soluzioni percorribili nella costruzione di un edificio in XLam è quella di realizzare un solaio piano con pannelli massicci e prevedere nel punto nodale una banda di materiale resiliente per migliorare le caratteristiche di isolamento acustico che comunque saranno garantite da un idoneo strato di materiale isolante, al quale affidare anche la funzione di isolamento termico, posto all'intradosso e all'estradosso del solaio. Una soluzione ottimale potrebbe essere quella di disporre sulla parte all'intradosso un pannello ROCKWOOL 220 sp. 50 mm (14), inserito nell'intercapedine determinata dal controsoffitto, e nella parte all'estradosso un pannello ROCKWOOL HARDROCK MAX sp. 120 mm (11) sul quale posare un massetto per la formazione delle pendenze necessario per dare la giusta inclinazione al tetto piano e garantire così il regolare deflusso delle acque.

LEGENDA

Solaio di copertura

1. Lastra in gessofibra sp. 12,5 mm
2. Pannello ROCKWOOL 220 sp. 60 mm
3. Pannello portante in XLam sp. 95 mm
4. Elemento di controllo del vapore
5. Pannello ROCKWOOL DUROCK ENERGY sp. 120 mm
6. Telo sottomanto impermeabile traspirante
7. Listellatura di supporto - intercapedine ventilata sp. 40 mm
8. Manto di copertura

Parete esterna ventilata

9. Lastra in cartongesso sp. 12,5 mm
10. Lastra in gessofibra sp. 12,5 mm
11. Struttura a singola orditura metallica in alluminio (intercap. 75 mm) riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 60 mm
12. Pannello portante in XLam sp. 94 mm
13. Pannello isolante ROCKWOOL VENTIROCK DUO sp. 120 mm
14. Sottostruttura in alluminio di supporto al rivestimento / intercapedine ventilata sp. 50mm *
15. Rivestimento a parete ventilata con lastre composite sottili ROCKPANEL
16. Gronda per il drenaggio delle acque meteoriche
17. Travetti passafuori
18. Tavolato di copertura della parte esterna con i passafuori
19. Vite autoforante per legno per giunzione pannelli XLam
20. Materiale per taglio acustico
21. Rete di protezione anti-insetti
22. Tassello per l'ancoraggio meccanico del pannello isolante

** Da valutare l'utilizzo di elementi di tenuta al vento, viste le peculiarità della tecnologia in legno.*

COPERTURA INCLINATA

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	30	cm
Trasmittanza termica	0,17	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,10	-
Sfasamento	11,89	h
Trasmittanza termica periodica	0,02	W/m²K
Massa superficiale	86,36	kg/m²
Costante di tempo	33,81	h

ANALISI TERMICA COPERTURA INCLINATA

Un pacchetto di copertura realizzato con pannelli XLam può presentare bassi valori di trasmittanza termica. Con una copertura inclinata ventilata (vedi figura), isolata esternamente con un pannello rigido ROCKWOOL DUROCK ENERGY (5) di 12 cm e coibentata termicamente e acusticamente all'intradosso con pannello ROCKWOOL 220 (2), si raggiunge una trasmittanza termica pari a 0,17 W/m²K. Tale valore risulta ampiamente inferiore al limite definito dal D.P.R. 59/2009 per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,23 W/m²K.

Il materiale isolante in copertura deve, ancor più che nella parete esterna, essere performante termicamente sia per le condizioni estive che per quelle invernali, in quanto la copertura è esposta a forte irraggiamento e ad ampie escursioni termiche. Il pacchetto di copertura in figura presenta uno sfasamento di 12 ore, determinando una situazione ottimale per la riduzione dell'ampiezza della sollecitazione termica.

ANALISI IGROMETRICA

La verifica di Glaser è fortemente influenzata dall'inserimento del freno a vapore sul lato caldo dello strato isolante (4). In questo modo, la verifica della stratigrafia riportata in figura, fatta nel mese con condizioni più restrittive e collocando l'edifico in zona F, risulta soddisfatta. Le linee della pressione di saturazione e delle pressioni relative si incrociano infatti sullo strato esterno del telo isolante laddove l'eventuale condensa viene rimossa dalla ventilazione sottomanto (7).

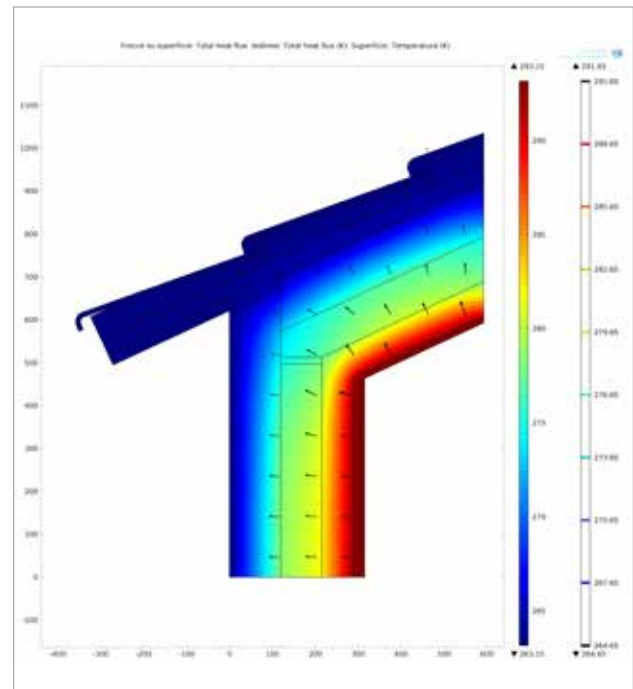
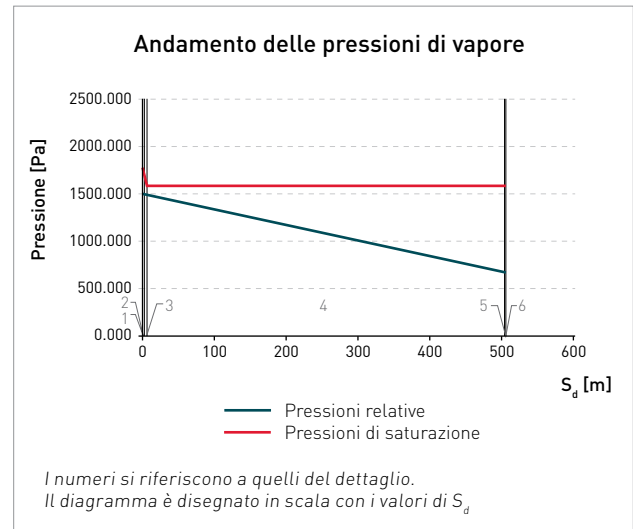
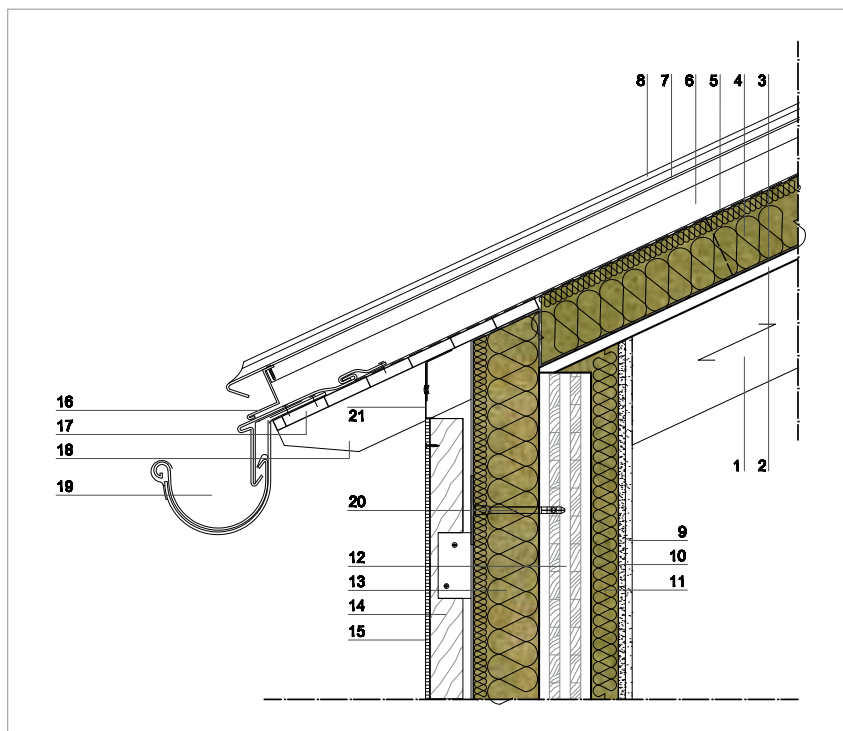
I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Il giunto tra la copertura e la parete esterna rappresenta uno dei punti critici della struttura per via delle problematiche legate alla continuità dell'isolamento e alla tenuta all'aria. Va posta attenzione alla verifica dei ponti termici per geometria degli spigoli; come si osserva nel diagramma di flusso termico in questi punti, infatti, la dispersione termica aumenta, per cui l'ottimale è mantenere la continuità del materiale isolante. Una scelta progettuale corretta, per evitare la formazione di un ponte termico, consiste nello scegliere materiali isolanti esterni uguali/compatibili per spessore e conformazione tra parete e copertura, per facilitare la connessione fra le due superfici. Come nel caso mostrato in figura, la copertura inclinata ventilata è isolata esternamente con un pannello rigido ROCKWOOL DUROCK ENERGY (5) a doppia densità, mentre la parete è coibentata con il pannello rigido ROCKWOOL VENTIROCK DUO (13), sempre a doppia densità. Il grafico di flusso termico conferma un andamento omogeneo delle isoterme nel raccordo, senza presentare zone critiche.

SPUNTI PROGETTUALI

L'isolamento acustico di un edificio in pannelli XLam presenta il suo punto debole nelle giunzioni strutturali, come quella fra il pannello di parete e quello di copertura. Nel dettaglio in figura l'eliminazione del ponte acustico è stato ottenuto con l'interposizione di materiali morbidi espansivi fra i due elementi rigidi. In questo modo si potrebbero anche soddisfare le esigenze di tenuta all'aria ed ermeticità dell'involucro, che vengono garantite con l'aggiunta di una nastratura interna.

Nel raccordo inoltre si deve prestare particolare attenzione alla realizzazione della finitura esterna, poiché in queste zone si potrebbe verificare la condizione che la membrana di tenuta al vento non sia rigirata opportunamente. Tale situazione potrebbe portare ad eventuali discontinuità che conducono a consistenti perdite di calore e a infiltrazioni d'acqua nel materiale isolante. Il telo impermeabile traspirante (6) dovrà essere posizionato sopra il pannello isolante, risvoltato in gronda e sigillato sul telo di controllo del vapore (4). Infatti l'errore più comune nei tetti tradizionali è vedere il telo impermeabile portato sino in gronda, lasciando quindi libertà all'aria fredda di aggredire il pacchetto di isolamento.

LEGENDA

Copertura inclinata

1. Struttura portante in travi a vista
2. Tavolato
3. Elemento di controllo del vapore
4. Pannello ROCKWOOL DUROCK ENERGY sp. 140mm
5. Telo sottomanto impermeabile traspirante
6. Listellatura di supporto
7. Tavolato di appoggio del manto di copertura
8. Manto di copertura in lamine di alluminio

Parete esterna ventilata

9. Lastra in cartongesso sp. 12,5 mm
10. Lastra in gessofibra sp. 12,5 mm
11. Struttura a orditura in legno riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 50 mm
12. Pannello portante in XLam sp. 95 mm
13. Pannello isolante ROCKWOOL VENTIROCK DUO sp. 120mm
14. Sottostruttura a montanti in legno di supporto al rivestimento / intercapedine ventilata sp. 50 mm *
15. Rivestimento a parete ventilata con lastre composite sottili ROCKPANEL
16. Rete di protezione anti-insetti
17. Tavolato di copertura della parte esterna su passafuori
18. Travetti passafuori
19. Gronda per il drenaggio delle acque meteoriche
20. Tassello per l'ancoraggio meccanico del pannello isolante
21. Rete di protezione anti-insetti

** Da valutare l'utilizzo di elementi di tenuta al vento, viste le peculiarità della tecnologia in legno.*

COPERTURA INCLINATA

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	22	cm
Trasmittanza termica	0,23	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,73	-
Sfasamento	5,35	h
Trasmittanza termica periodica	0,17	W/m²K
Massa superficiale	34,67	kg/m²
Costante di tempo	23,44	h

ANALISI TERMICA COPERTURA INCLINATA

In una copertura inclinata realizzata con tavolato che poggia su travetti in legno a vista si raggiunge un valore di trasmittanza termica pari a 0,23 W/m²K, compatibile con il valore limite definito dal D.P.R. 59/2009, per la zona climatica più restrittiva. La copertura è coibentata esternamente con pannelli isolanti ROCKWOOL DUROCK ENERGY sp. 140 mm (4).

La copertura presentata ha una bassa massa superficiale, pari a meno di 35 kg/m². Ciò comporta un valore di sfasamento piuttosto basso se confrontato a quello di altre stratigrafie più efficienti da questo punto di vista. Pertanto, se ne consiglia l'utilizzo in zone climatiche dove non risulta fondamentale un comportamento altamente prestazionale in regime estivo.

ANALISI IGROMETRICA

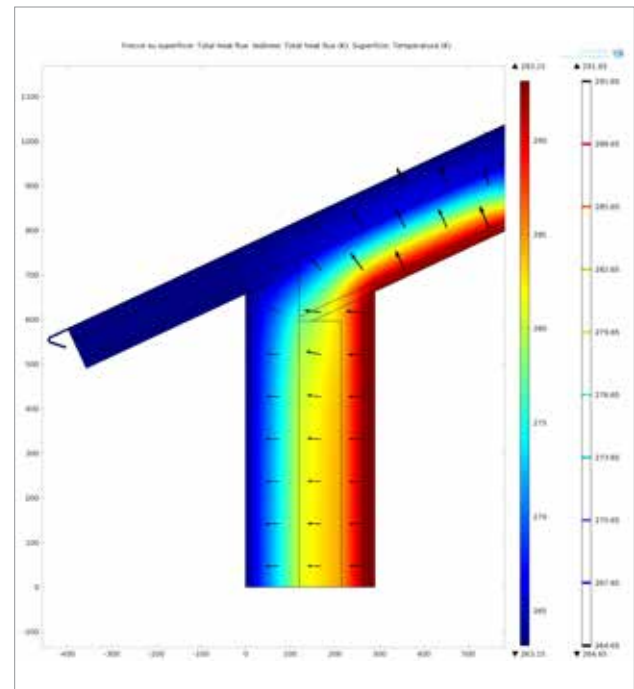
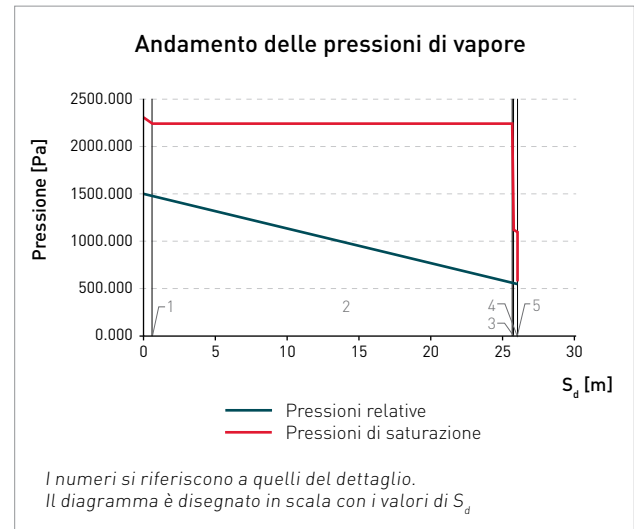
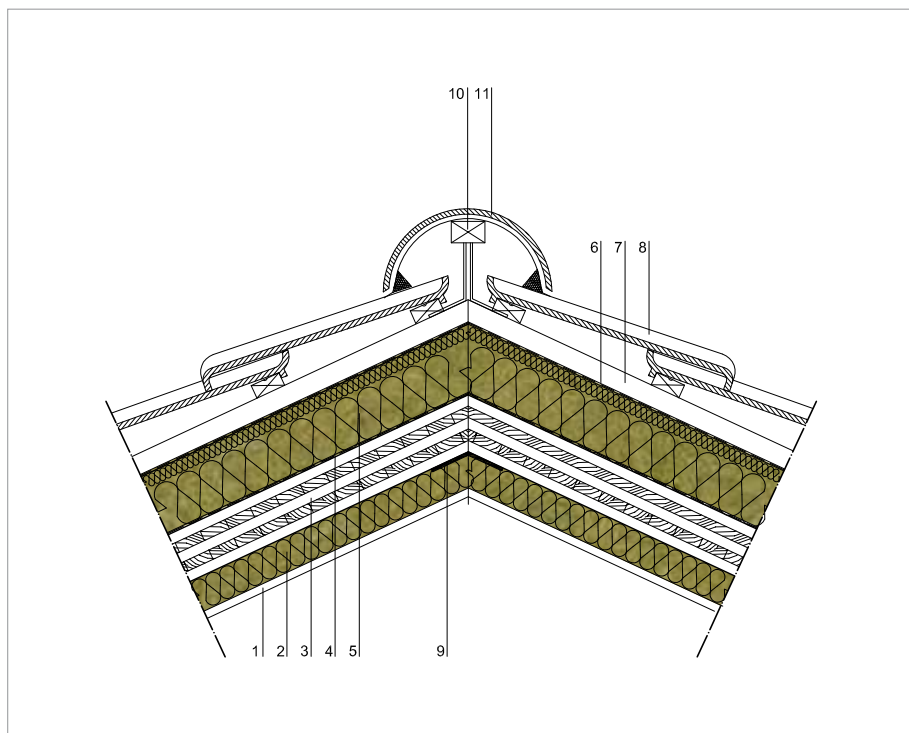
La verifica di Glaser condotta sulla copertura nel mese con condizioni più restrittive, collocando l'edificio in zona F, è facilmente soddisfatta con l'applicazione di un freno a vapore (3) sul lato caldo dello strato isolante. Particolare cura va posta nella scelta della guaina impermeabile sottomanto (5), che deve essere traspirante in modo da non impedire la traspirazione della stratigrafia e l'equilibrio igrometrico delle strutture.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Rispetto a una soluzione costruttiva con solaio di copertura realizzato con un pannello XLam, la dispersione termica in questo caso è maggiore a causa dell'assenza dell'effetto benefico del pannello XLam. Tuttavia, la soluzione costruttiva con isolamento con un pannello rigido ROCKWOOL DUROCK ENERGY (5) a doppia densità, posto sopra il tavolato (2), e parete coibentata con il pannello rigido ROCKWOOL VENTIROCK DUO (13), sempre a doppia densità, garantiscono un andamento omogeneo delle isoterme nel raccordo, senza presentare zone critiche, come confermato dal grafico del flusso termico.

SPUNTI PROGETTUALI

Spesso in un edificio in XLam il solaio di copertura è realizzato con travi in legno con sovrastante impalcato di tavole. Nel caso si voglia lasciare a vista l'orditura per motivi di ordine formale l'isolamento termico ed acustico viene posto tutto all'estradosso e realizzato con ROCKWOOL DUROCK ENERGY sp. 140 mm (4) che per le sue caratteristiche fisico meccaniche, tra le quali la più rilevante la doppia densità, consente la posa in opera della listellatura di supporto del manto di copertura e che al contempo permette la formazione dell'intercapedine per la ventilazione sottomanto. Rilevante sarà la presenza di una retina para-insetti per evitare, nell'intercapedine stessa, la presenza e la proliferazione di nidi di piccoli animali. Sarà opportuno proteggere l'isolante con un telo impermeabile traspirante per prevenire le conseguenze di infiltrazioni d'acqua derivanti da guasti al manto di copertura. Ovviamente bisognerà porre attenzione al punto di contatto tra la parete e il tavolato (2) soprattutto per quanto riguarda la continuità dell'isolante esterno che nel caso della parete del disegno in figura è il pannello ROCKWOOL VENTIROCK DUO sp. 120 mm (13). La parete è finita esternamente come "parete ventilata" con lastre composite sottili ROCKPANEL (16).

LEGENDA

Solaio di copertura

1. Lastra in gessofibra sp. 12,5 mm
2. Pannello ROCKWOOL 220 sp. 60 mm
3. Struttura portante in XLam sp. 95 mm
4. Elemento di controllo del vapore
5. Pannello ROCKWOOL DUROCK ENERGY sp. 120 mm
6. Telo sottomanto idrorepellente
7. Listellatura di supporto - intercapedine ventilata sp. 50 mm
8. Manto di copertura
9. Nastratura per la tenuta all'aria
10. Listello sottocolmo
11. Colmo

COPERTURA INCLINATA

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	30	cm
Trasmittanza termica	0,17	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,10	-
Sfasamento	11,89	h
Trasmittanza termica periodica	0,02	W/m²K
Massa superficiale	86,36	kg/m²
Costante di tempo	33,81	h

ANALISI TERMICA COPERTURA

Un pacchetto di copertura realizzato con pannelli XLam può presentare bassi valori di trasmittanza termica. Con una copertura inclinata ventilata (vedi figura), isolata esternamente con un pannello rigido ROCKWOOL DUROCK ENERGY (5) di 12 cm e coibentata termicamente e acusticamente all'intradosso con Pannello ROCKWOOL 220 (2), si raggiunge una trasmittanza termica pari a 0,17 W/m²K. Tale valore risulta ampiamente inferiore al limite definito dal D.P.R. 59/2009 per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,23 W/m²K.

Il materiale isolante in copertura deve, ancor più che nella parete esterna, essere performante termicamente sia per le condizioni estive che per quelle invernali, in quanto la copertura è esposta a forte irraggiamento e ad ampie escursioni termiche. Il pacchetto di copertura in figura presenta uno sfasamento di 12 ore ed una costante di tempo elevata (circa 34 ore), determinando una situazione ottimale per la riduzione dell'ampiezza della sollecitazione termica, che subisce un forte smorzamento all'interno del pannello multistrato in legno.

ANALISI IGROMETRICA

La verifica di Glaser è fortemente influenzata dalla necessità di inserire un freno a vapore sul lato caldo dello strato isolante (4). In questo modo, la verifica della stratigrafia riportata in figura, fatta nel mese con condizioni più restrittive e collocando l'edificio in zona F, risulta soddisfatta. Le linee della pressione di saturazione e delle pressioni relative si incrociano infatti sullo strato esterno del telo isolante laddove l'eventuale condensa viene rimossa dalla ventilazione sottomanto (7).

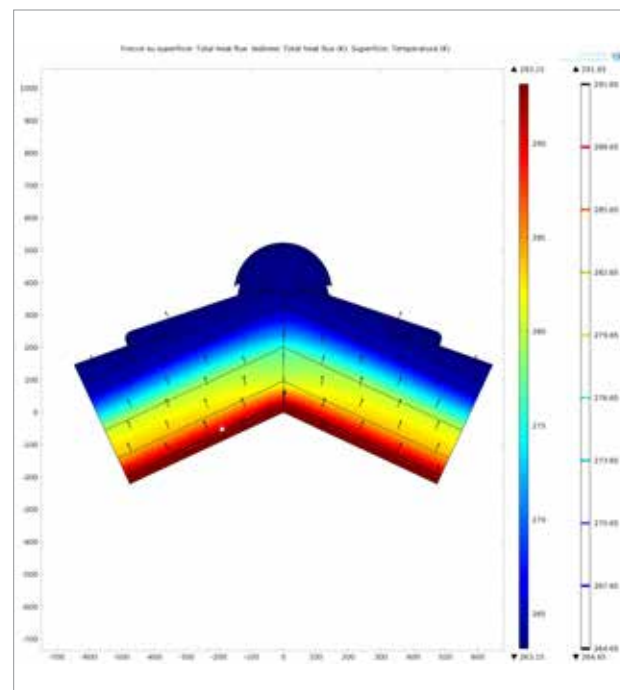
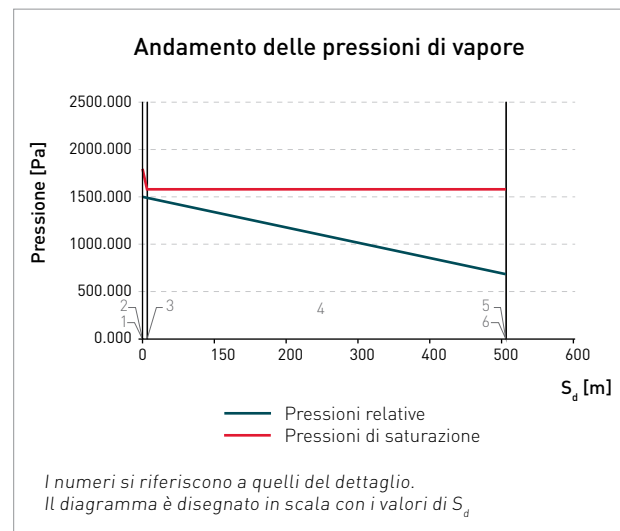
I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Una delle problematiche rilevanti nelle costruzioni a secco deriva dalla potenziale discontinuità geometrica e costruttiva che si può determinare tra i componenti con conseguente formazione di interruzioni dell'isolamento termico e della capacità di tenuta all'aria. In questo caso non si presentano particolare dispersioni termiche, in quanto la continuità dell'isolamento (5) è facilmente ottenibile. L'isolamento potrà essere incentivato con l'introduzione di un pannello ROCKWOOL 220 (2) all'intradosso tra la finitura in cartongesso e la struttura in legno.

SPUNTI PROGETTUALI

I pannelli in XLam in corrispondenza del colmo della copertura possono essere autoportanti o sorretti da una trave di colmareccio. Nel caso in figura l'isolamento all'estradosso è realizzato con ROCKWOOL DUROCK ENERGY sp. 120 mm (5) che avendo doppia densità, consente la posa in opera della listellatura di supporto del manto di copertura e la conseguente formazione dell'intercapedine per la ventilazione sottomanto.

Nel punto di contatto delle due falde sarà necessario fare una sigillatura interna con banda autoadesiva. All'estradosso verrà posto un colmo che consentirà il movimento dell'aria nel sottomanto e al contempo eviterà all'acqua di penetrare nell'intercapedine. Per prevenire danni all'isolante e all'intera struttura del tetto in caso di accidentale penetrazione dell'acqua verrà predisposto un opportuno telo impermeabile traspirante che da un lato protegga la struttura, dall'altro consenta però la traspirazione dell'involucro.

3.2 PANNELLI INTELAIATI

3.2.1 Generalità

Nel sistema a pannelli intelaiati, il setto portante è costituito da un telaio leggero fatto di segati, rivestito su uno o ambo i lati con lastre a base legno (compensato strutturale, OSB, MDF, ecc.) o gesso (cartongesso, gessofibra, ecc.) (Figura 3.17). Le finiture interna ed esterna della parete possono avere diverse soluzioni costruttive in rapporto alla destinazione d'uso. Le canalizzazioni per gli impianti sono alloggiate nell'intelaiatura o, preferibilmente, in apposita intercapedine tra il setto portante e il rivestimento di finitura interna.

In generale la parete è concepita in modo tale da attribuire a ciascun elemento componente una specifica funzione per garantire la sicurezza statica dell'edificio, la tenuta all'aria e al vento, l'isolamento termo-acustico, la sicurezza al fuoco e la protezione dall'umidità. La conformazione, lo spessore dei materiali e la loro disposizione reciproca dipendono dalle loro caratteristiche fisico-meccaniche. In linea teorica garantisce queste prestazioni una stratificazione composta come specificato in figura 3.18.

I pannelli possono essere realizzati interamente in opera o fuori opera, con differenti livelli di prefabbricazione. Per quanto riguarda i segati, vengono impiegate sezioni standard di spessore variabile 5-8 cm, e di profondità 10-18 cm le cui dimensioni dipendono sia dalle verifiche statiche sia dallo spessore di isolante che si vuole interporre nella parete.

I montanti sono connessi fra loro mediante mezzi di collegamento semplici come graffe, cambrette, viti e chiodi (Figura 3.19). I pannelli di rivestimento strutturale vengono collegati all'intelaiatura tramite chiodi ad aderenza migliorata, di diametro dai 3 ai 3,5 mm, disposti generalmente ad interasse di 100-200 mm in corrispondenza dei bordi del pannello e raddoppiati sui bordi esterni ed in prossimità delle aperture (porte e finestre).

Per la chiusura dei pannelli intelaiati sono usate sia lastre a base legno che a base gesso (Figura 3.20, pagina seguente), le cui caratteristiche, dalla letteratura corrente, sono in tabella 3.6.

Figura 3.19 - Collegamento degli elementi lineari del setto portante tramite: a) viti; b) cambrette; c) chiodi.

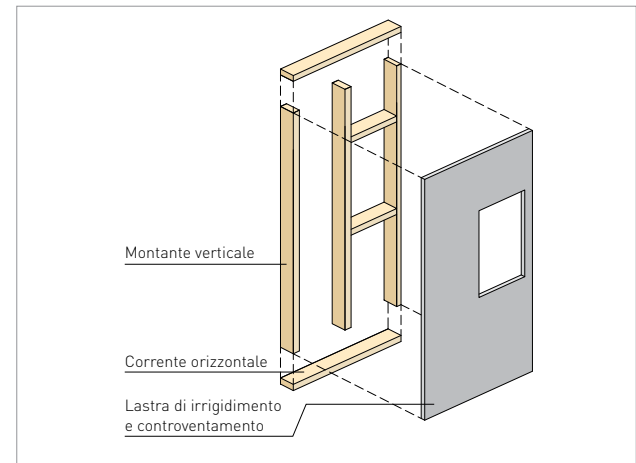



Figura 3.17 - Elementi costituenti il setto portante.

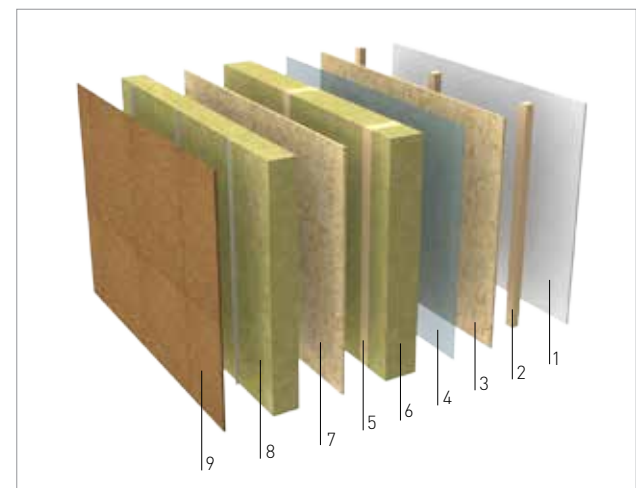



Figura 3.18 - Elementi costituenti una parete con setto portante intelaiato:
1. *rivestimento interno*
2. *sede per la eventuale collocazione degli impianti*
3. *pannello di irrigidimento interno, ermeticamente sigillato*
4. *telo di tenuta all'aria/freno a vapore*
5. *intelaiatura portante in legno*
6. *strato isolante inglobato nell'intelaiatura portante*
7. *pannello di irrigidimento esterno*
8. *pannello isolante*
9. *rivestimento esterno ad intonaco o a parete ventilata*

Lastre	Dimensioni tipiche			Proprietà fisiche				Comportamento al fuoco	
	Larg. [mm]	Lung. [mm]	Sp. [mm]	ρ [kg/m³]	λ [W/mK]	μ [-]	C [kJ/kgK]	Resistenza al fuoco*	Velocità di carbonizzazione
Pannelli OSB	2500/ 5000	607 - 2500	8 – 40	650	0,13	30/50	1700	D-s2,d0*	0,9
Pannelli di particelle	2800/ 5610	2070	6 – 40	300	0,07	10/50	2500	D-s2,d0*	0,9
				600	0,12	15/50			
				900	0,18	20/50			
Pannelli di particelle legati con cemento	2800/ 5610	1250	8 - 40	1200	0,23	30/50	2000	B-s1,d0	-
Pannelli MDF	675- 1250	2500 - 2800	13/15	400	0,07	5/10	1700	D-s2,do*	0,9
				600	0,10	12/20			
				800	0,14	20/30			
Pannelli in cartongesso	1200	2000/ 2500/ 300	10/12.5/ 15	900	0,21	8	1050	A2/B-s1,d0	0,9
Pannelli in gessofibra	1200/ 1250	2000/ 2500/ 300	10/12.5/ 15/18	1150	0,32	13	1100	A2-s1,d0	-

** In conformità alla decisione 2007/348/EC della Commissione Europea, per quanto riguarda i pannelli a base di legno; per i pannelli in cartongesso e gessofibra si fa riferimento alla letteratura corrente.*

Tabella 3.6 - Caratteristiche fisico-dimensionali delle lastre per la chiusura dei pannelli intelaiati.

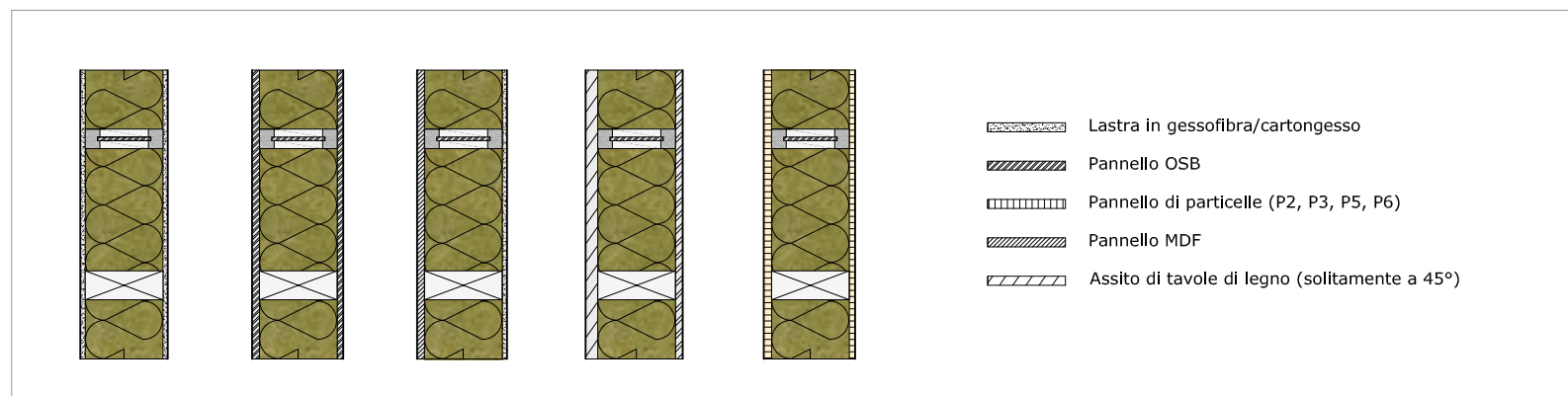



Figura 3.20 - Varianti costruttive dei pannelli intelaiati con lastre di chiusura differenti.

Se i pannelli sono realizzati in opera, i telai vengono assemblati direttamente in prossimità dell'area di posa e rivestiti con una lastra che ha anche funzione controventante provvisoria/definitiva, quindi eretti e fissati provvisoriamente (Figura 3.21). Successivamente viene posto al loro interno l'isolante ed, eventualmente, le canalizzazioni per gli impianti.

Le ulteriori fasi della posa in opera consistono nella solidarizzazione dei pannelli e nella predisposizione della lastra interna di chiusura, sulla quale potrà essere apposta la finitura, in aderenza o su supporto. Il lato esterno del pannello avrà una finitura a cappotto intonacato o a parete ventilata. Nel caso di pannelli prefabbricati, a seconda del numero delle lavorazioni che si vogliono trasferire in officina, si avrà un diverso livello di preassemblaggio, da un minimo dell'intelaiatura con una lastra a una soluzione intermedia con la finitura su ambo le facce, la predisposizione del freno vapore e telo antivento (Figura 3.22), fino al pannello completo di impianti e serramenti (Figura 3.23). Questo permette la rapida realizzazione della costruzione con una notevole riduzione dei tempi di cantiere e il veloce montaggio.

La ridondanza dei percorsi di trasmissione dei carichi in un edificio, costruito con la tecnica delle pareti portanti intelaiate, porta a vantaggi da non sottovalutare. Infatti, la possibile crisi di un elemento può essere compensata dal funzionamento ancora in atto degli elementi vicini. Inoltre, il numero elevato degli elementi metallici di collegamento garantisce un'ottima duttilità strutturale. Esso consente di dissipare energeticamente le azioni cicliche dovute all'evento sismico tanto che, in accordo con la normativa europea UNI 1995-1-2 per i sistemi con pannelli di parete chiodati con diaframmi chiodati, si può assumere un fattore di struttura q = 5, mentre per edifici in pannelli XLam si assume q = 2.

Figura 3.21 - Telai assemblati in opera.

Figura 3.22 - Pannello realizzato parzialmente in officina.

Figura 3.23 Pannello completo di impianti e serramenti.

Figura 3.24 - Pannelli prefabbricati equipaggiati con ganci a scomparsa.

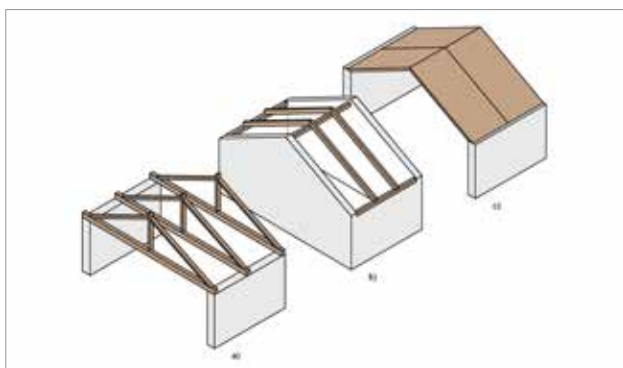



Figura 3.25 - Schemi di soluzioni costruttive per copertura:
a) incavallature leggere;
b) falsi puntoni su colmareccio;
c) con pannelli intelaiati.

Figura 3.26 - Incavallature leggere in tavole e piastre chiodate.

3.2.2 Connessioni e montaggio

La correlazione con il terreno degli edifici in legno, a pannelli portanti intelaiati, avviene tramite un elemento di separazione del piano di posa dalle strutture verticali. In genere consiste in un solaio controterra areato o in un cordolo in c.a..

Il giunto di forza tra pannello portante e sistema fondale, in caso di pannello interamente prefabbricato in officina, si realizza tramite piastre e angolari di diverse dimensioni a seconda della funzione che devono svolgere. Ai fini di contrastare le azioni ribaltanti si pongono, alle estremità delle pareti e in corrispondenza delle aperture, gli *hold-down*: piastre angolari allungate collegate con chiodi al telaio della parete e con barre tirafondo in acciaio ammarrate nella fondazione. Per resistere invece allo scorrimento e agli sforzi di taglio si utilizzano degli angolari, a lati uguali, che collegano le pareti alla fondazione.

Il giunto parete-parete è funzione del livello di prefabbricazione dei componenti. Nel caso i pannelli siano parzialmente prefabbricati, cioè vengano posti in opera quando in officina è stato realizzato soltanto il telaio e applicata la lastra esterna, la connessione avviene per chiodatura dei montanti. Nel caso invece che i pannelli siano completamente finiti in officina, la correlazione avviene con l'ausilio di un connettore ad aggancio a scomparsa o un giunto in legno scorporato (Figura 3.24).

Il collegamento tra parete e solaio dipende dalle modalità realizzative di quest'ultimo. Nel caso che sia realizzato con pannelli intelaiati, verrà sovrapposto il pannello e collegato alla parete sottostante con viti. Se il solaio è con travi a vista, queste ultime potranno essere appoggiate sulla sommità del pannello, chiuse in testa con una mantovana e ad esso collegate con scarpe o angolari.

Negli edifici a pannelli intelaiati la copertura a falde è realizzata secondo tre diverse modalità: con incavallature leggere, con falsi puntoni su colmareccio o con pannelli intelaiati (Figura 3.25).

Le incavallature sono costituite da travature collegate tra loro tramite piastre chiodate (Figura 3.26). Nel procedimento a colmareccio e falsi puntoni, una trave di colmo sorregge i puntoni che all'altra estremità appoggiano sulle pareti perimetrali.

La copertura a pannelli intelaiati è quella più ricorrete nei sistemi interamente prefabbricati in officina e nelle soluzioni tipologiche che prevedono il sottotetto abitato e con tetto microventilato. La soluzione costruttiva a incavallature leggere invece è ricorrente nelle configurazioni con sottotetto areato, che implica l'isolamento termico e acustico dell'ultimo solaio. Il procedimento a colmareccio e falsi puntoni è ottimale quando si voglia avere un locale sottotetto abitabile con travi a vista.

Le coperture piane sono in genere realizzate con le stesse tecniche costruttive dei solai intermedi con l'unica variante consistente in una maggior coibentazione per la necessità di avere prestazioni termiche analoghe a quelle delle pareti esterne.

3.2.3 Caratteristiche costruttive del sistema ai fini del comfort termo-igrometrico

Nel sistema a pannelli intelaiati l'isolamento è posto tra i montanti del telaio. È quindi integrato nell'ossatura portante a differenza dei sistemi massicci nei quali, invece, è all'esterno del setto portante. Questo potrebbe favorire, in linea teorica, una riduzione dello spessore. Di contro, la mancata continuità dello strato isolante, causata dalla presenza del telaio ligneo, determina un ponte termico, distribuito in maniera discreta lungo tutta la parete, che in un certo qual modo modifica l'andamento delle isoterme all'interno del pannello, anche se non in maniera rilevante. Comunque, trattandosi di un'anomalia, è opportuno posizionare uno strato aggiuntivo di isolante esterno, in modo da attenuare l'irregolarità. Complessivamente lo spessore di questa soluzione non si differenzia molto da quella con struttura a pannelli massicci. Una soluzione costruttiva per ovviare all'inconveniente prevede l'utilizzo di montanti conformati a doppio T (**I**-*joist*), che consentono, a parità di prestazioni strutturali, di minimizzare l'effetto del ponte termico.

Per rendersi conto della capacità di isolamento termico di una parete intelaiata (Figura 3.27), in rapporto al suo spessore, si riporta di seguito il calcolo della sua trasmittanza, considerando la presenza o meno dei montanti all'interno del pannello. Si ipotizza una parete come rappresentata in figura 3.27.

Se si tralascia la presenza dell'intelaiatura la trasmittanza U risulterebbe essere:

$$U = \frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{8{,}4} W/m^2K = 0{,}12\ W/m^2K$$

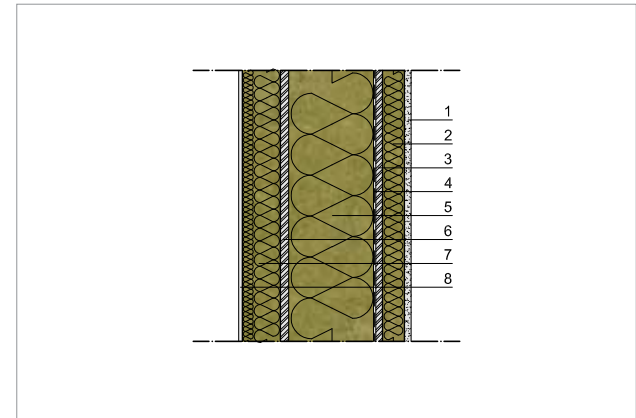



Figura 3.27 - Stratigrafia della parete:
1. lastra in gessofibra
2. pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS
3. pannello OSB
4. telo di tenuta all'aria
5. pannello ROCKWOOL TIMBEROCK
6. pannello OSB
7. pannello ROCKWOOL FRONTROCK MAX E
8. intonaco di calce.

Stratigrafia	Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m³]	Resistenza termica [m²k/W]	Massa superficiale Ms [kg/m²]
Rsi Strato laminare interno					*0.130*	
1 Gessofibra	0.013	0.360	1000	1180	0.035	14.75
2 ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS	0.040	0.033	1030	70	1.212	2.80
3 Pannello OSB	0.013	0.130	1700	680	0.096	8.50
4 Telo di tenuta all'aria	0.005	1.000	1000	300	0.005	1.50
5 ROCKWOOL TIMBEROCK	0.160	0.033	1030	70	4.848	11.20
6 Pannello OSB	0.013	0.130	1700	680	0.100	8.84
7 ROCKWOOL FRONTROCK MAX E	0.070	0.036	1030	90	1.944	6.30
8 Intonaco di calce	0.008	0.680	1000	1620	0.012	12.96
Rse Strato laminare esterno					*0.040*	
Spessore totale componente [cm]:	32.1			Resistenza termica totale [m²K/W]:	8.4	66.85

Tabella 3.7 - Valori caratteristici della parete con stratigrafia come in figura 3.27.

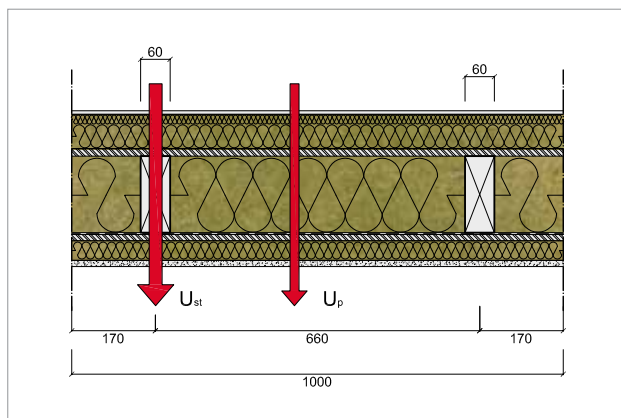



Figura 3.28 - Sezione unitaria di parete.

Per considerare la presenza del telaio, è necessario analizzare sezioni differenti del pacchetto costruttivo, ovvero effettuare un calcolo della disomogeneità, metterlo in relazione percentuale alla struttura prevalente e calcolare il valore pesato dell'intera struttura.

Un modo di procedere è quello di prendere in considerazione due sezioni significative (Figura 3.28), una passante per l'isolamento termico interno al pannello e una passante per il montante in legno, di cui si calcolano la trasmittanza termica X_{is} e X_{st}. Si determina l'incidenza della superficie dei montanti sulla superficie unitaria di pannello ovvero l'incidenza percentuale dei montanti (I_{st}) e dell'isolante (I_{is}), come è indicato di seguito.

$$I_{st} = (\frac{1}{i} \cdot s) \cdot 1m^2$$

$$I_{is} = (1 - \frac{s}{i}) \cdot 1m^2$$

dove s è lo spessore dei montanti e i è il loro interasse.

Il valore del parametro pesato tra le sezioni della parete si ottiene tramite la relazione

$$X_p = X_{is} \cdot I_{is} + X_{st} \cdot I_{st}$$

Calcolando ora la trasmittanza totale della parete, con montanti di spessore s=0,06 m posti ad un interasse pari a i=0,66 m si ottiene il valore

$$U_g = 0{,}12 \cdot 0{,}88 + 0{,}22 \cdot 0{,}12 = 0{,}13\ W/m^2K$$

Da quanto detto si deduce che la presenza dei montanti, pur portando a delle perturbazioni, non incide in maniera rilevante sul comportamento termico. Le prestazioni della parete in esame, inoltre, soddisfano a pieno i requisiti definiti dal D.P.R. 59/2009, presentando un valore di trasmittanza di molto inferiore al valore limite per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,26 W/m^{2}K.

Per quanto riguarda la valutazione del comportamento dell'involucro in regime estivo, riprendendo l'esempio della stratigrafia di figura 3.27 e tabella 3.7 si ottengono i seguenti valori:

Trasmittanza U [W/m2K]	**0.13**
Massa superficiale Ms [kg/m^2]	**73.19**
Costante di tempo τ [h]	**23.84**
Attenuazione f_d [-]	**0.159**
Sfasamento φ [h]	**12.45**
Trasmittanza termica periodica |Yie| [W/m^{2}K]	**0.03**

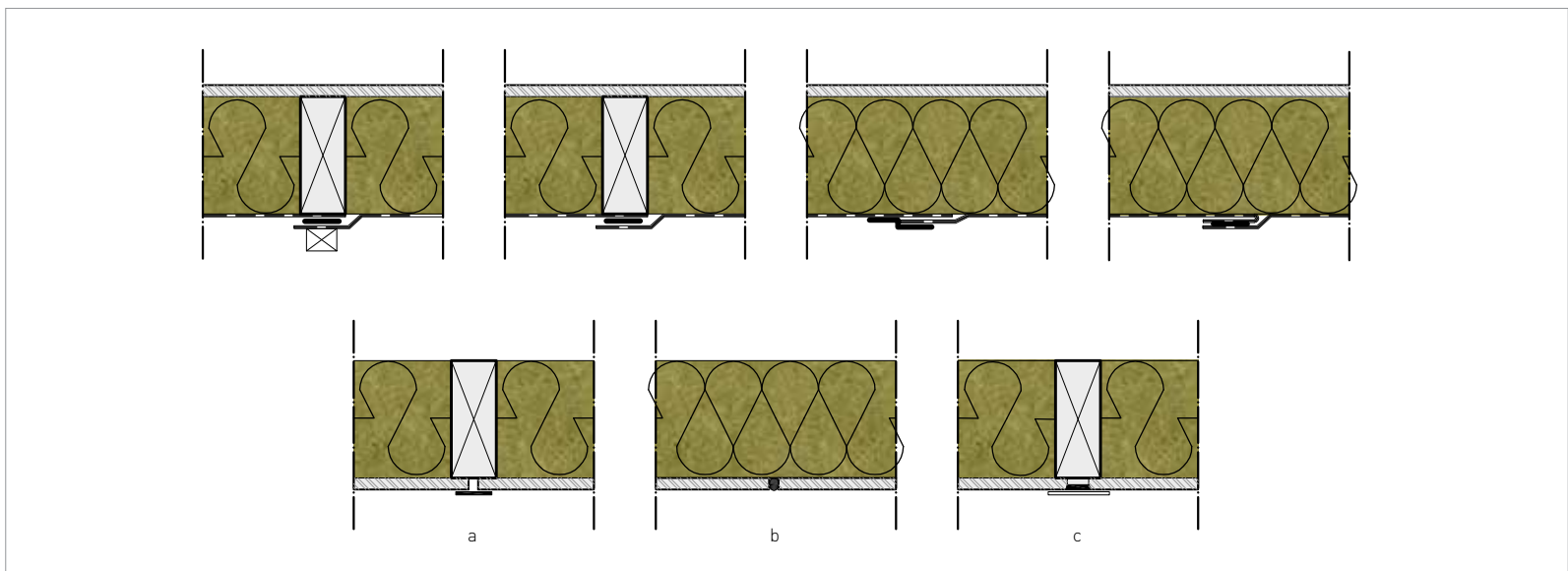
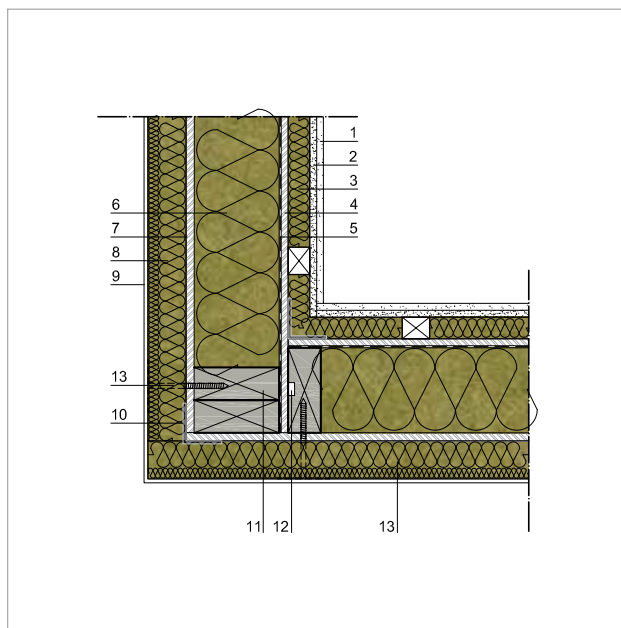
La parete così composta ha prestazioni ottime e qualità prestazionale di I Livello, ma il livello superiore sarebbe raggiungibile con la maggiorazione di un paio di centimetri di isolamento esterno a cappotto. Inoltre, il valore del modulo di trasmittanza termica periodica |Yie| soddisfa la prescrizione del D.L. n.311 del 29/12/06, essendo inferiore a 0,12 W/m^{2}K.

Negli edifici a pannelli intelaiati si determinano condizioni che implicano problemi connessi all'ermeticità: dispersioni termiche dell'edificio, formazione di condensa localizzata nella costruzione, spifferi, ponti acustici e degrado dei materiali isolanti. A tal fine, è opportuno garantire due strati di tenuta, uno interno che svolga anche la funzione di freno al vapore ed uno esterno che garantisca l'impermeabilità al vento.

Pratica comune consiste nell'utilizzare come tenuta all'aria uno strato già presente in stratigrafia, come ad esempio i pannelli di irrigidimento. Pannelli OSB o in cartongesso/gesso fibra, opportunamente sigillati, svolgono efficacemente anche la funzione di tenuta all'aria. Tuttavia più comunemente nel processo di prefabbricazione del pannello intelaiato viene inserita una membrana di tenuta, con anche funzione di freno a vapore, sul lato caldo della parete, prima del pannello di chiusura interno (Figura 3.29).

La tenuta al vento è garantita dalla rasatura del cappotto per pareti intonacate e da eventuali teli antivento, prevalentemente in polietilene, disposti sul lato esterno degli strati isolanti, nel caso di pareti ventilate. Particolare attenzione va posta alla giunzione dei teli con appositi nastri monoadesivi (Figura 3.30).

Figura 3.29 - Pannello prefabbricato con telo di tenuta all'aria (beige) e al vento (azzurro).

Figura 3.30 - Modalità di sovrapposizione dei teli e di giunzione delle lastre di chiusura per la tenuta all'aria:
a) tramite nastri adesivi
b) giunti adesivi
c) riempimento della giunzione con ad es. gesso.

3.2.4 Schede tecniche di progetto

LEGENDA

Parete esterna intonacata

1. Lastra in cartongesso sp.12,5 mm
2. Lastra in gessofibra sp.12,5 mm
3. Orditura in legno riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 50 mm
4. Pannello di chiusura a base legno sp. 12,5 mm
5. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
6. Pannello isolante ROCKWOOL TIMBEROCK sp. 160 mm, interposto nella intelaiatura portante
7. Pannello di chiusura a base legno sp. 15mm
8. Pannello isolante ROCKWOOL FRONTROCK MAX E sp. 80mm
9. Finitura traspirante per cappotto su rasante con rete portaintonaco
10. Nastratura esterna delle giunzioni dei pannelli parete
11. Raddoppio del montante d'angolo per maggior rigidità del pannello
12. Connettore ad aggancio a scomparsa per correlazione fra pannelli parete
13. Tassello per l'ancoraggio meccanico del pannello isolante

PARETE ESTERNA INTONACATA

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	38	cm
Trasmittanza termica	0,11	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,10	-
Sfasamento	14,46	h
Trasmittanza termica periodica	0,01	W/m²K
Massa superficiale	104,08	kg/m²
Costante di tempo	23,58	h

ANALISI TERMICA DELLA PARETE INTONACATA

Una parete realizzata con pannelli intelaiati presenta un comportamento estremamente efficace da un punto di vista termico con bassi valori di trasmittanza termica e con un ingombro molto limitato. Con una parete intonacata, isolata a cappotto con pannelli ROCKWOOL FRONTROCK MAX E sp.80mm (8) e coibentata internamente con pannelli ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp.50 mm (3), si raggiunge, con uno spessore di 38 cm un valore di trasmittanza termica pari a 0,11 W/m²K, di molto inferiore al valore limite definito dal D.P.R. 59/2009, per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,26 W/m²K.

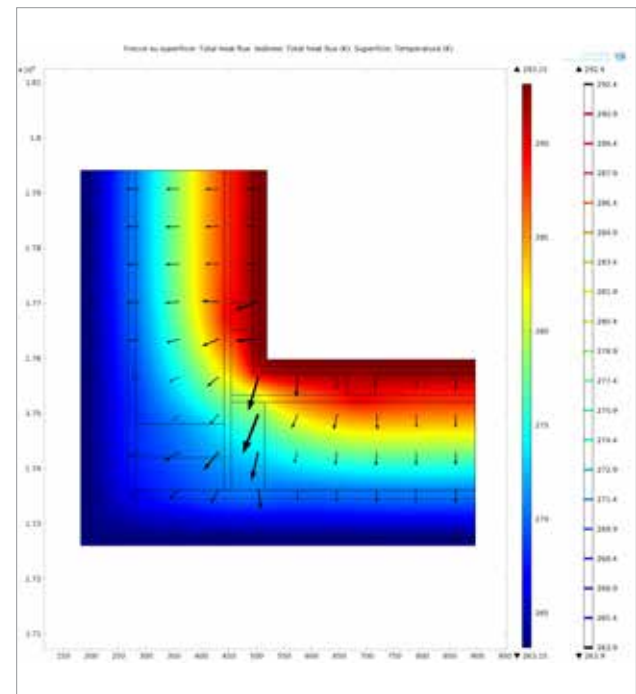
La stessa stratigrafia presenta una costante di tempo pari a 23,58 ore e uno sfasamento che supera le 14 ore. La parete risulta sicuramente molto efficiente in regime estivo in quanto il picco di calore si risente nelle ore notturne quando un'opportuna ventilazione naturale può contribuire al raffrescamento dello spazio abitativo.

ANALISI IGROMETRICA

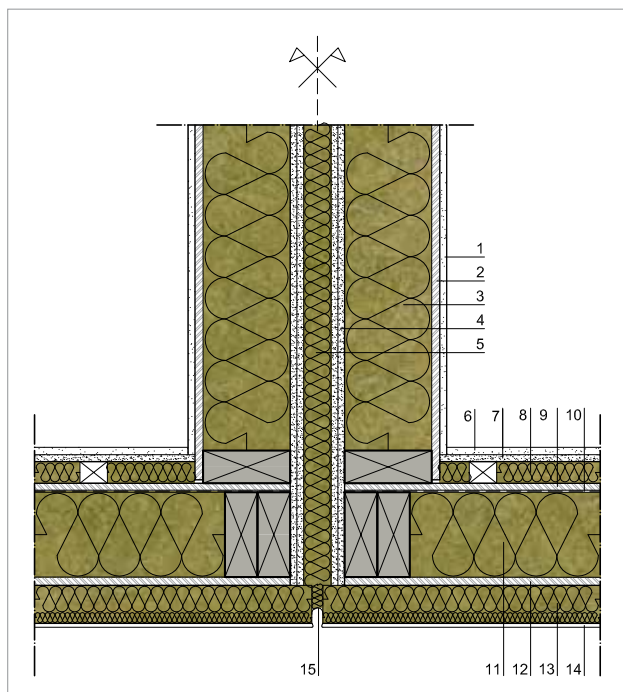
Dalla verifica di Glaser condotta sulla parete nel mese con condizioni più restrittive, collocando l'edificio in zona F, non si rileva formazione di condensa interstiziale. Facendo rifermento al grafico si nota come esso sia influenzato dalla presenza del freno a vapore (5), posto subito prima della lastra di chiusura interna (4) del pannello intelaiato. Grazie all'interposizione di questo strato, la linea azzurra delle pressioni relative, date dalle condizioni climatiche reali, e la linea rossa delle pressioni di saturazione non s'intersecano in nessun punto interno alla parete, garantendo così l'equilibrio igrometrico della stratigrafia.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Il collegamento ad angolo della parete esterna rappresenta un punto piuttosto delicato dell'involucro, in quanto vi è un'accentuazione della dispersione termica per geometria, come si vede nel diagramma del flusso a fianco. Inoltre, nei nodi a due vie ad angolo si possono determinare discontinuità geometriche o costruttive tra i componenti con conseguente formazione di interruzioni dell'isolamento termico e della capacità di tenuta all'aria. Per tali motivi è opportuno sigillare le linee di giunzione con nastri di tenuta e al contempo predisporre l'isolante senza determinare aree di discontinuità come nel dettaglio costruttivo in figura.

SPUNTI PROGETTUALI

La correlazione ad angolo parete-parete può venir realizzata in modi diversi. Nel caso di pannelli prefabbricati, i due vengono connessi tramite ganci a scomparsa maschio-femmina posti in appositi alloggiamenti ricavati nei montanti dei pannelli.

Un'altra soluzione consiste nel fissaggio mediante viti autoforanti inclinate. La realizzazione delle giunzioni fra pannelli avviene tramite connessioni impermeabili all'aria, con nastrature adesive poste manualmente (10), e con membrane a taglio acustico.

LEGENDA

Parete divisoria

1. Rivestimento in lastra in cartongesso sp.12,5 mm
2. Pannello di chiusura a base legno sp. 12,5 mm
3. Pannello isolante ROCKWOOL TIMBEROCK sp. 160 mm, interposto nell'intelaiatura portante
4. Doppia lastra in gessofibra sp.2x12,5 mm
5. Pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 50 mm

Parete esterna intonacata

6. Lastra in cartongesso sp.12,5 mm
7. Lastra in gessofibra sp.12,5 mm
8. Struttura a orditura in legno riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 50 mm
9. Pannello di chiusura a base legno sp. 12,5 mm
10. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
11. Pannello isolante ROCKWOOL TIMBEROCK sp. 160 mm
12. Pannello di chiusura a base legno sp. 15 mm
13. Pannello isolante ROCKWOOL FRONTROCK MAX E sp. 80 mm
14. Finitura traspirante per cappotto su rasante con rete portaintonaco
15. Profilo per giunto di dilatazione

PARETE DIVISORIA PORTANTE

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	47	cm
Trasmittanza termica	0,08	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,03	-
Sfasamento	18,12	h
Trasmittanza termica periodica	0,00	W/m²K
Massa superficiale	124,40	kg/m²
Costante di tempo	34,70	h

ANALISI TERMICA PARETE DIVISORIA PORTANTE

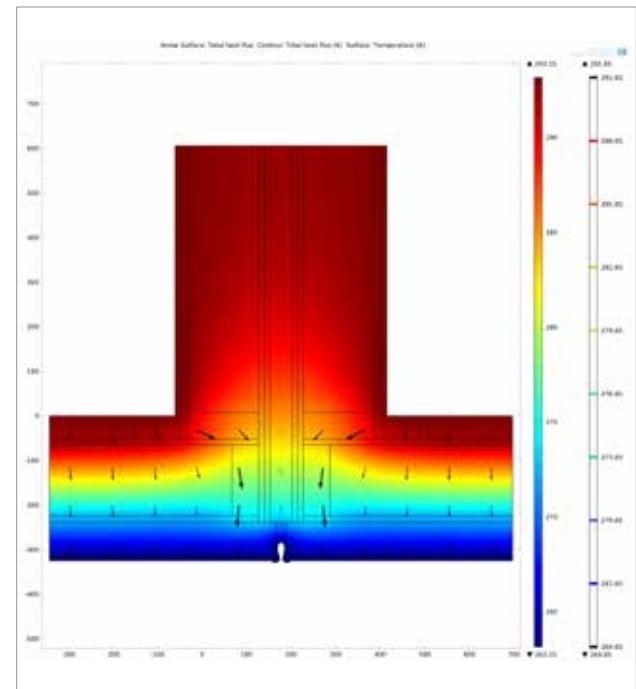
In una parete divisoria realizzata con pannelli intelaiati è possibile ottenere valori di trasmittanza termica bassi con un ingombro molto limitato: ciò acquisisce particolare importanza nel caso che la parete divida unità abitative differenti. Con una parete realizzata con due setti intelaiati (vedi figura), coibentati internamente con pannelli ROCKWOOL TIMBEROCK sp.160 mm (3), e disaccoppiati con intercapedine coibentata ulteriormente con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp.50 mm (5), si raggiunge, con uno spessore di 47 cm, un valore di trasmittanza termica pari a 0,08 W/m²K. Poiché si tratta di un componente costruttivo interno il calcolo dello sfasamento; pari a circa 18 ore, e della costante di tempo, circa 35 ore, risulta poco indicativo e viene riportato solo per completezza.

ANALISI IGROMETRICA

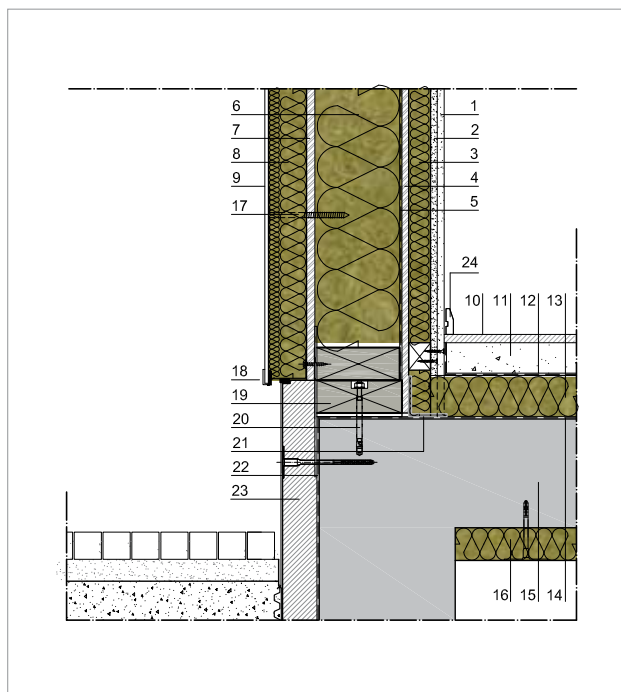
La verifica di Glaser è stata condotta ipotizzando che uno dei due locali, separati dalla partizione verticale, non sia riscaldato e si trovi quindi ad una temperatura di 12°C. Come si evince dal grafico, in quanto non vi è un ambiente propriamente freddo, la verifica è facilmente superata e non si rileva formazione di condensa interstiziale. La linea azzurra delle pressioni relative, date dalle condizioni climatiche reali, non interseca la linea rossa delle pressioni di saturazione in nessun punto interno alla parete.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Nel diagramma di flusso termico del nodo, si può notare come vi sia una debole dispersione termica in corrispondenza dei montanti in legno. Per il resto, l'andamento delle isoterme è molto uniforme e si evince come l'isolamento inserito all'interno dell'intercapedine tra i due setti intelaiati, risulti decisamente efficace nel contenere il calore all'interno dello spazio abitato.

SPUNTI PROGETTUALI

La parete divisoria portante generalmente definisce la separazione tra due unità abitative e possiede quindi caratteristiche di taglio termico e acustico. Nel caso in cui uno dei due appartamenti sia abitato solo stagionalmente, la parete dovrà avere un comportamento termico che eviti dispersioni di calore dell'unità invece riscaldata.

La parete divisoria è composta da due pannelli intelaiati distanziati l'uno dall'altro da un'intercapedine coibentata. Ai lati si possono realizzare delle contropareti per l'alloggio e il passaggio degli impianti, con intelaiatura in profili metallici o con orditura in legno. Il giunto di dilatazione di materiale fibroso, in questo caso lana di roccia (5), impedisce la trasmissione dei rumori tra le due unità.

LEGENDA

Parete esterna intonacata

1. Lastra in cartongesso sp. 12,5 mm
2. Lastra in gessofibra sp. 12,5 mm
3. Orditura in legno riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 50 mm
4. Pannello di chiusura a base legno sp. 12,5 mm
5. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
6. Pannello isolante ROCKWOOL TIMBEROCK sp. 160 mm, interposto nell'orditura portante
7. Pannello di chiusura a base legno sp. 15 mm
8. Pannello isolante ROCKWOOL FRONTROCK MAX E sp. 80 mm
9. Finitura traspirante per cappotto su rasante con rete portaintonaco

Solaio intermedio

10. Pavimento in legno duro sp. 15 mm
11. Massetto alleggerito per impianti sp.60 mm
12. Telo per il contenimento del getto del massetto
13. Pannello isolante ROCKWOOL STEPROCK HD sp.80 mm
14. Guaina bituminosa
15. Solaio
16. Pannello isolante ROCKWOOL CEILINGROCK sp.60 mm
17. Tassello per l'ancoraggio meccanico del pannello isolante
18. Profilo sagomato di base per cappotto con gocciolatoio e rete portaintonaco
19. Trave di banchina in larice
20. Tassello di ancoraggio della trave di banchina con la fondazione
21. Nastratura interna per tenuta all'aria
22. Guaina impermeabilizzante per fondazioni
23. Isolamento termico della zoccolatura
24. Battiscopa

SOLAIO INTERMEDIO

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	48	cm
Trasmittanza termica	0,23	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,01	-
Sfasamento	15,11	h
Trasmittanza termica periodica	0,00	W/m²K
Massa superficiale	732,65	kg/m²
Costante di tempo	28,08	h

ANALISI TERMICA SOLAIO INTERMEDIO

Il solaio del basamento accessibile di un edificio a pannelli intelaiati può esser realizzato con una soletta in c.a. coibentata con doppio strato isolante (vedi figura), superiormente con pannelli ROCKWOOL STEPROCK HD di spessore 80 mm (13) ed inferiormente con pannelli ROCKWOOL CEILINGROCK sp.60mm (16). Con tale configurazione si raggiunge un valore di trasmittanza termica pari a 0,23 W/m²K, di molto inferiore al valore limite definito dal D.P.R. 59/2009, per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,32 W/m²K.

La stessa stratigrafia presenta una costante di tempo pari a 28 ore che porta lo sfasamento a superare le 15 ore. Questo dato ha in realtà scarso valore dal momento che il solaio intermedio non riceve irraggiamento diretto.

ANALISI IGROMETRICA

La realizzazione del solaio è piuttosto facile dal punto di vista igrometrico, in quanto, sia che esso sia posto controterra o, come nel caso rappresentato, sopra un locale seminterrato, la temperatura del lato inferiore non è così rigida come quella considerata per le pareti esterne. La verifica di Glaser non risulta quindi particolarmente severa e non vi è formazione di condensa interstiziale.

Il valore di S_d è influenzato dalla presenza della guaina bituminosa impermeabile (14), indispensabile per evitare fenomeni di umidità di risalita.

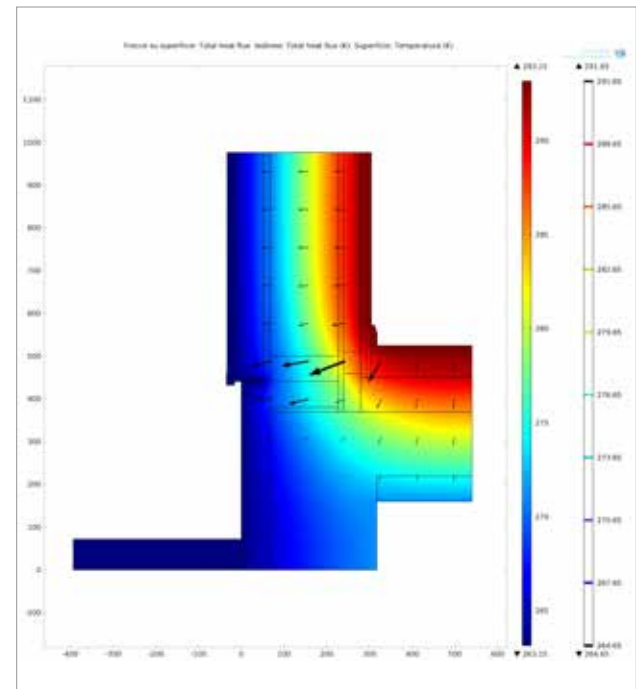
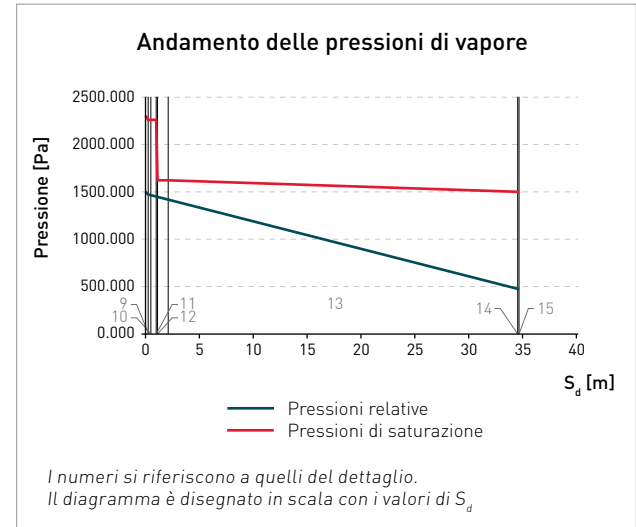
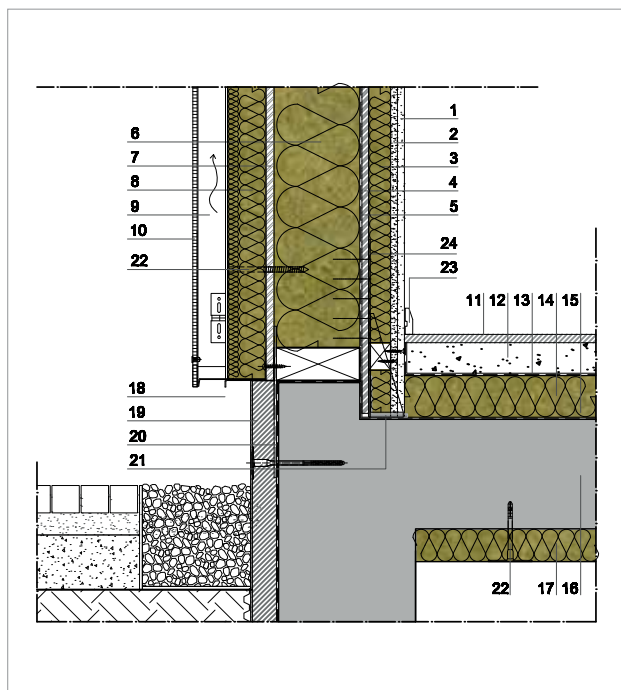
I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Per limitare le dispersioni di calore dovute alla maggior conducibilità termica della fondazione in calcestruzzo armato è importante sviluppare adeguatamente il dettaglio della giunzione tra essa e le pareti dell'edificio. La regola principale è di riuscire a dare continuità agli elementi con buone caratteristiche di isolamento termico ed ottenere quindi idealmente una superficie continua che racchiuda il volume riscaldato. Minori sono le interruzioni di questa superficie, maggiore è il grado di isolamento delle fondazioni e maggiori sono le qualità prestazionali energetiche dell'edificio. La continuità del materiale isolante all'interno della controparete e all'estradosso del solaio di base elimina completamente la formazione del ponte termico. Come si vede dal grafico di flusso termico, l'andamento della temperatura all'interno degli strati è omogeneo ed equilibrato in tutte le direzioni, non presentando particolari dispersioni.

SPUNTI PROGETTUALI

Il collegamento tra due strutture di materiali diversi, quali il cemento e il legno, costituisce una zona sensibile dell'edificio. È opportuno che gli elementi portanti in legno non siano mai posti a contatto diretto con il calcestruzzo, posizionando una guaina impermeabile (14) per evitare la risalita capillare.

La parete intelaiata raffigurata poggia su una trave di banchina in legno di larice, a minore propensione all'assorbimento d'acqua rispetto ad altre essenze. Questa soluzione può essere scelta in tranquillità nel caso che il piano di calpestio esterno sia ad una quota maggiore di 30-40 cm al di sotto delle strutture lignee e nel caso di solaio di interrato aerato.

LEGENDA

Parete esterna ventilata

1. Lastra in cartongesso sp. 12,5 mm
2. Lastra in gessofibra sp. 12,5 mm
3. Orditura in legno riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 50 mm*
4. Pannello di chiusura a base legno sp. 12,5 mm
5. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
6. Pannello isolante ROCKWOOL TIMBEROCK sp. 160 mm
7. Pannello di chiusura a base legno sp. 15 mm
8. Pannello isolante ROCKWOOL VENTIROCK DUO sp. 80 mm
9. Sottostruttura in alluminio di supporto al rivestimento / intercapedine ventilata sp. 50 mm**
10. Rivestimento a parete ventilata con lastre composite sottili ROCKPANEL

Solaio di base

11. Pavimento in legno duro sp. 15 mm
12. Massetto alleggerito per impianti sp. 60 mm
13. Telo per il contenimento del getto del massetto
14. Pannello isolante ROCKWOOL STEPROCK HD sp. 80 mm
15. Guaina bituminosa
16. Solaio
17. Pannello isolante ROCKWOOL CEILINGROCK sp. 60 mm
18. Gocciolatoio metallico
19. Isolamento termico della zoccolatura
20. Guaina impermeabilizzante per fondazioni
21. Nastratura interna per tenuta all'aria
22. Tassello per l'ancoraggio meccanico del pannello isolante
23. Battiscopa
24. Connettore hold-down

** Utilizzato ai soli fini acustici.*
*** Da valutare l'utilizzo di elementi di tenuta al vento, viste le peculiarità della tecnologia in legno.*

PARETE ESTERNA VENTILATA

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	36	cm
Trasmittanza termica	0,13	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,24	-
Sfasamento	10,99	h
Trasmittanza termica periodica	0,03	W/m²K
Massa superficiale	61,22	kg/m²
Costante di tempo	21,48	h

ANALISI TERMICA PARETE VENTILATA

Una parete realizzata con pannelli intelaiati presenta un comportamento estremamente efficace da un punto di vista termico con bassi valori di trasmittanza termica e con un ingombro molto limitato. Con una parete a rivestimento ventilato, isolata con pannelli ROCKWOOL VENTIROCK DUO sp.80 mm (8), si raggiunge, con uno spessore di 36 cm un valore di trasmittanza termica pari a 0,13 W/m²K, di molto inferiore al valore limite definito dal D.P.R. 59/2009, per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,26 W/m²K.

La stessa stratigrafia presenta una costante di tempo pari a 21 ore e uno sfasamento di circa 11 ore. La parete risulta sicuramente molto efficiente in regime estivo in quanto il picco di calore si risente nelle ore notturne quando un'opportuna ventilazione naturale può contribuire al raffrescamento dello spazio abitativo.

ANALISI IGROMETRICA

Dalla verifica di Glaser condotta sulla parete nel mese con condizioni più restrittive, collocando l'edificio in zona F, non si rileva formazione di condensa interstiziale. Facendo rifermento al grafico si nota come esso sia influenzato dalla presenza del freno a vapore (5), posto subito prima della lastra di chiusura interna (4) del pannello intelaiato. Grazie all'interposizione di questo strato, la linea azzurra delle pressioni relative, date dalle condizioni climatiche reali, e la linea rossa delle pressioni di saturazione non s'intersecano in nessun punto interno alla parete, garantendo così l'equilibrio igrometrico della stratigrafia.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Come si vede dal grafico di flusso termico, l'andamento della temperatura all'interno degli strati è omogeneo ed equilibrato in tutte le direzioni, non presentando particolari dispersioni.

SPUNTI PROGETTUALI

Anche per la posa delle pareti intelaiate bisogna prestare attenzione alla realizzazione del basamento e all'eventuale cordolo perimetrale, in questo caso realizzato in calcestruzzo. Solitamente viene lasciata la lastra di chiusura interna (4) con una lunghezza appositamente maggiore rispetto a quella esterna (7), per poter agevolare la posa del pannello sul cordolo. A protezione dell'interfaccia fra i due materiali, legno e calcestruzzo, va interposta una guaina impermeabile (15, 20) per evitare la risalita di umidità dal terreno.

Il fissaggio delle pareti al masso fondale avviene tramite angolari metallici e hold-down (24) posti in corrispondenza dei montanti verticali del telaio. Il corrente orizzontale inferiore del telaio può essere ulteriormente fissati al basamento per mezzo di barre filettate.

Di estrema importanza è il controllo della tenuta all'aria dei giunti. L'attacco a terra della parete intelaiata avviene in tal senso con l'interposizione di guarnizioni ad espansione o con sigillatura con nastri adesivi a tenuta (21).

LEGENDA

Parete esterna ventilata

1. Lastra in cartongesso sp. 12,5 mm
2. Lastra in gessofibra sp. 12,5 mm
3. Orditura in legno riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 50 mm
4. Pannello di chiusura a base legno sp. 12,5 mm
5. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
6. Pannello isolante ROCKWOOL TIMBEROCK sp. 160 mm
7. Pannello di chiusura a base legno sp. 15 mm
8. Pannello isolante ROCKWOOL VENTIROCK DUO sp. 80 mm
9. Sottostruttura in alluminio di supporto al rivestimento / intercapedine ventilata sp. 50 mm*
10. Rivestimento a parete ventilata con lastre composite sottili ROCKPANEL

Solaio intermedio

11. Pavimento in legno duro sp. 15 mm
12. Massetto alleggerito per impianti sp. 60 mm
13. Telo per il contenimento del getto del massetto
14. Pannello ROCKWOOL STEPROCK LD per isolamento acustico anticalpestio sp. 20 mm
15. Pannello di chiusura a base legno sp. 20 mm
16. Pannello ROCKWOOL 220 sp. 100 mm
17. Telo di protezione
18. Controsoffitto con rivestimento in lastra in cartongesso sp.12,5 mm
19. Nastratura per tenuta all'aria
20. Rete anti-insetti
21. Trave perimetrale con intaglio predisposto per l'aggancio dei travetti del solaio
22. Gocciolatoio profilato in lamiera per interruzione dell'intercapedine di ventilazione
23. Materiale per taglio acustico
24. Corrente metallico a supporto del controsoffitto
25. Battiscopa

** Da valutare l'utilizzo di elementi di tenuta al vento, viste le peculiarità della tecnologia in legno.*

SOLAIO INTERMEDIO

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	38	cm
Trasmittanza termica	0,23	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,33	-
Sfasamento	9,07	h
Trasmittanza termica periodica	0,07	W/m²K
Massa superficiale	170,50	kg/m²
Costante di tempo	7,14	h

ANALISI TERMICA SOLAIO INTERMEDIO

Un solaio intermedio realizzato con una struttura intelaiata, coibentata in intercapedine (16), raggiunge valori di trasmittanza termica decisamente contenuti, pari a circa 0,23 W/m²K. Questa soluzione è quindi consigliata quando il solaio ha funzione di separazione fra diverse unità abitative. L'ingombro del solaio è pari a 39 cm. Il calcolo dello sfasamento e della costante di tempo ha valore solo indicativo dal momento che la componente si pone all'interno dell'involucro e non subisce quindi le sollecitazioni termiche esterne.

ANALISI IGROMETRICA

La verifica di Glaser del solaio risulta facilmente soddisfatta in quanto tale componente non comunica con un ambiente propriamente freddo. Si è quindi ipotizzato che il locale sottostante non fosse riscaldato e si trovasse ad una temperatura di 12°C. Facendo riferimento al grafico si evidenzia come le problematicità legate alla condensa siano tranquillamente trascurabili.

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Nel dettaglio costruttivo in figura il ponte termico è stato risolto completamente grazie al posizionamento dell'isolamento esterno (8) e nell'intercapedine della travatura del solaio. Per i primi 60 cm la coibentazione è per tutta l'altezza del vano, tramite la sovrapposizione di due pannelli isolanti (16); successivamente viene applicato un solo strato isolante. Il grafico del flusso termico dimostra una leggera distorsione delle isoterme nello strato isolante, che può essere ulteriormente risolta con l'aumento dello strato isolante esterno, per evitare il ponte termico dovuto alla presenza della trave di cordolo (21).

SPUNTI PROGETTUALI

Il solaio viene realizzato mediante orditura di travetti che vengono agganciati sulla trave di banchina appositamente intagliata (21) e su cui viene poggiata poi la lastra di chiusura del solaio (tavolato, pannello OSB, compensato, ...) (15). Il fissaggio dei pannelli intelaiati di parete sul solaio intermedio avviene tramite angolari metallici e hold down in corrispondenza dei montanti verticali del telaio. La trave di base del telaio viene fissata con viti infisse perpendicolarmente dal lato superiore.

Per garantire la tenuta all'aria nella correlazione fra parete e solaio è necessario sigillare la giunzione con nastri duttili applicati all'interno della parete ed eventualmente introducendo ulteriori speciali guarnizioni ad espansione, applicate nella zona di contatto, che spesso coincidono con gli elementi deputati al taglio acustico (23).

Il solaio intermedio è isolato acusticamente con un pannello anticalpestio ROCKWOOL STEPROCK LD (14). Per evitare la trasmissione dei rumori per fiancheggiamento, questo ultimo va installato assieme ad una fascia perimetrale di taglio acustico o ad un risvolto del materassino stesso, che andrà poi rifilato una volta realizzato il pavimento.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

LEGENDA

Parete esterna ventilata

1. Lastra in cartongesso sp. 12,5 mm
2. Lastra in gessofibra sp. 12,5 mm
3. Orditura in legno riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 50 mm
4. Pannello di chiusura a base legno sp. 12,5 mm
5. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
6. Pannello isolante ROCKWOOL TIMBEROCK sp. 160 mm
7. Pannello di chiusura a base legno sp.15 mm
8. Pannello isolante ROCKWOOL VENTIROCK DUO sp. 80 mm
9. Sottostruttura in alluminio di supporto al rivestimento / intercapedine ventilata sp. 50 mm*
10. Rivestimento a parete ventilata con lastre composite sottili ROCKPANEL

Solaio intermedio

11. Pavimento in Legno duro sp. 15 mm
12. Sottofondo sp.40 mm
13. Telo per il contenimento del sottofondo
14. Pannello ROCKWOOL STEPROCK LD per isolamento acustico anticalpestio sp.20mm
15. Elementi in cemento per appesantimento del solaio a scopi di isolamento acustico
16. Pannello di chiusura a base legno sp. 20 mm
17. Orditura del solaio con travi a vista
18. Nastratura per tenuta all'aria
19. Rete anti-insetti
20. Tavola di chiusura di testa del solaio
21. Gocciolatoio profilato in lamiera per interruzione dell'intercapedine di ventilazione
22. Materiale per taglio acustico
23. Tassello per l'ancoraggio meccanico del pannello isolante
24. Battiscopa

** Da valutare l'utilizzo di elementi di tenuta al vento, viste le peculiarità della tecnologia in legno.*

SOLAIO INTERMEDIO

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	16	cm
Trasmittanza termica	0,88	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,31	-
Sfasamento	8,10	h
Trasmittanza termica periodica	0,27	W/m²K
Massa superficiale	240,95	kg/m²
Costante di tempo	3,52	h

ANALISI TERMICA SOLAIO INTERMEDIO

Un solaio intermedio realizzato con travi a vista su cui poggia il tavolato raggiunge valori di trasmittanza termica decisamente elevati, pari a circa 0,88 W/m²K. Tale valore è dovuto alla presenza degli elementi in cemento, usati per appesantire il solaio a scopo di isolamento acustico (15). Questa soluzione è quindi consigliata quando il solaio non ha funzione di separazione fra diverse unità abitative. L'ingombro del solaio è minimo, pari a 16 cm, ma la sua massa superficiale è piuttosto elevata (240,95 kg/m²) per la presenza degli elementi di calcestruzzo. Il calcolo dello sfasamento e della costante di tempo ha valore solo indicativo dal momento che la componente si pone all'interno dell'involucro e non subisce quindi le sollecitazioni termiche esterne.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

ANALISI IGROMETRICA

Per effettuare la verifica di Glaser del solaio si è ipotizzato che il locale sottostante non fosse riscaldato e si trovasse quindi ad una temperatura di 12°C. Facendo riferimento al grafico si evidenzia come le problematicità legate alla condensa non esistono.

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Nel dettaglio costruttivo in figura il ponte termico è stato risolto completamente posizionando il materiale isolante sul lato esterno delle pareti (8) e nello spazio interposto fra i travetti del solaio. L'isolamento esterno garantisce così di racchiudere il volume riscaldato. Il grafico del flusso termico dimostra l'efficacia della soluzione: le isoterme rimangono omogenee e parallele nello strato isolante, non subendo particolari distorsioni.

SPUNTI PROGETTUALI

Per garantire la tenuta all'aria nella correlazione fra parete e solaio è necessario sigillare la giunzione con nastri duttili applicati all'interno della parete ed eventualmente introducendo ulteriori speciali guarnizioni ad espansione, applicate nella zona di contatto, che spesso coincidono con gli elementi deputati al taglio acustico.

Il solaio intermedio è isolato acusticamente con un pannello anticalpestio ROCKWOOL STEPROCK LD (14). Per evitare la trasmissione del rumore per fiancheggiamento, questo ultimo va installato assieme ad una fascia perimetrale di taglio acustico o ad un risvolto del materassino stesso, che andrà poi rifilato una volta realizzato il pavimento. L'utilizzo di uno strato di appesantimento, qui in elementi di cemento (15) ma realizzato anche con mattoni o materiale granulare, ha lo scopo di migliorare il comportamento acustico del componente rispetto alle basse frequenze.

LEGENDA

Parete esterna intonacata

1. Lastra in cartongesso sp. 12,5 mm
2. Lastra in gessofibra sp. 12,5 mm
3. Orditura in legno riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 60 mm
4. Pannello di chiusura a base legno sp. 12,5 mm
5. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
6. Pannello isolante ROCKWOOL TIMBEROCK sp. 160 mm
7. Pannello di chiusura a base legno sp. 15 mm
8. Pannello isolante ROCKWOOL FRONTROCK MAX E sp. 80 mm
9. Finitura traspirante per cappotto su rasante con rete portaintonaco

Solaio intermedio

10. Pavimento in legno duro sp. 15 mm
11. Massetto alleggerito per impianti sp.60 mm
12. Telo per il contenimento del getto del massetto
13. Pannello ROCKWOOL STEPROCK LD per isolamento acustico anticalpestio sp.20 mm
14. Pannello di chiusura a base legno sp. 20 mm
15. Pannello ROCKWOOL 220 sp. 100 mm
16. Telo di tenuta all'aria
17. Controsoffitto con rivestimento in lastra in cartongesso sp.12,5 mm

18. Guarnizioni e cuscinetti per la tenuta all'aria del serramento
19. Serramento in legno
20. Scossalina sagomata per l'allontanamento dell'acqua piovana
21. Protezione metallica del serramento
22. Materiale per taglio acustico
23. Tassello per l'ancoraggio meccanico del pannello isolante
24. Controdavanzale

PARETE ESTERNA INTONACATA

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	38	cm
Trasmittanza termica	0,11	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,10	-
Sfasamento	14,46	h
Trasmittanza termica periodica	0,01	W/m²K
Massa superficiale	104,80	kg/m²
Costante di tempo	23,58	h

ANALISI TERMICA PARETE INTONACATA

Una parete realizzata con pannelli intelaiati presenta un comportamento estremamente efficace da un punto di vista termico con bassi valori di trasmittanza termica e con un ingombro molto limitato. Con una parete intonacata, isolata a cappotto con pannelli ROCKWOOL FRONTROCK MAX E sp.80mm (8) e coibentata internamente con pannelli ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp.60 mm (3), si raggiunge, con uno spessore di 38 cm un valore di trasmittanza termica pari a 0,11 W/m²K, di molto inferiore al valore limite definito dal D.P.R. 59/2009, per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,26 W/m²K. La stessa stratigrafia presenta una costante di tempo pari a 23,58 ore e uno sfasamento che supera le 14 ore. La parete risulta sicuramente molto efficiente in regime estivo in quanto il picco di calore si risente nelle ore notturne quando un'opportuna ventilazione naturale può contribuire al raffrescamento dello spazio abitativo.

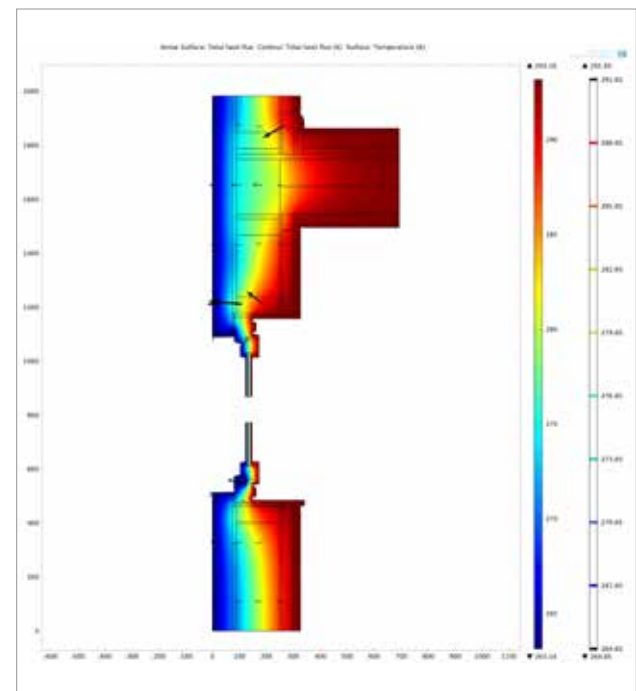
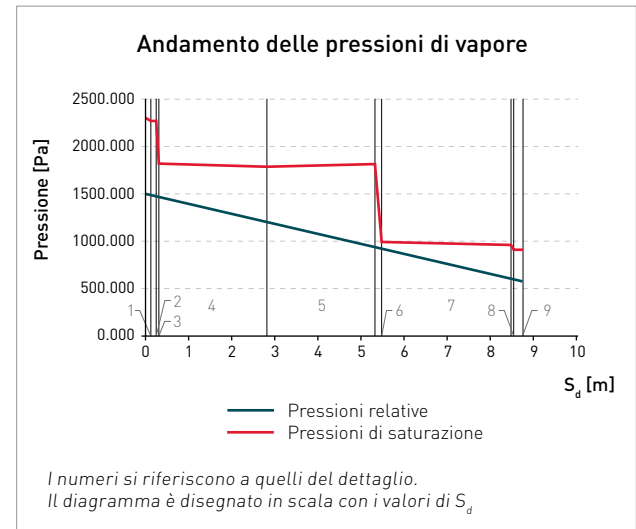
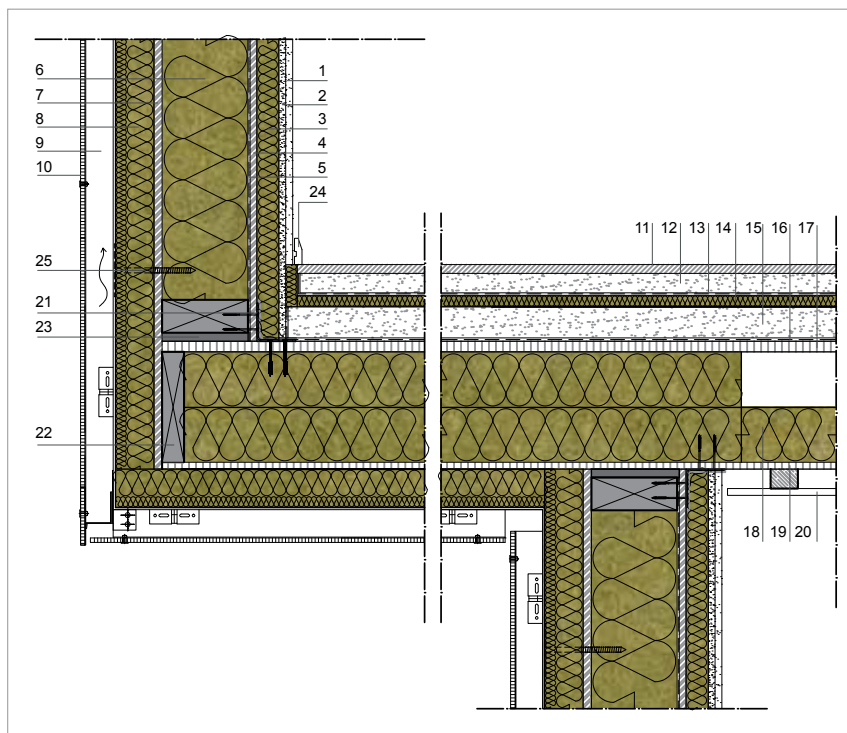
ANALISI IGROMETRICA

Dalla verifica di Glaser condotta sulla parete nel mese con condizioni più restrittive, collocando l'edificio in zona F, non si rileva formazione di condensa interstiziale. Facendo rifermento al grafico si nota come esso sia influenzato dalla presenza del freno a vapore (5), posto subito prima della lastra di chiusura interna (4) del pannello intelaiato. Grazie all'interposizione di questo strato, la linea azzurra delle pressioni relative, date dalle condizioni climatiche reali, e la linea rossa delle pressioni di saturazione non s'intersecano in nessun punto interno alla parete, garantendo così l'equilibrio igrometrico della stratigrafia.

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Generalmente la giunzione di finestra della parete esterna è uno dei punti più delicati per quanto riguarda il fenomeno dei ponti termici. Pertanto è necessario che gli elementi costituenti il nodo abbiano un basso valore di trasmittanza termica U, così da ridurre la quantità di calore disperso. Ovviamente è rilevante la posa in opera del serramento, che deve garantire il corretto isolamento del controtelaio e il taglio termico del davanzale, realizzabile con due elementi, uno esterno (davanzale, 20) ed uno interno (controdavanzale, 24), tra i quali va poi posizionato materiale isolante, in modo da creare una netta separazione tra i manufatti e limitare così il ponte termico.

SPUNTI PROGETTUALI

L'inserimento del serramento in un edificio a pannelli intelaiati, come in tutti i punti nodali, richiede una certa accortezza nella realizzazione del dettaglio per evitare ponti termici ed acustici. A tal fine è opportuno che la finitura al bordo del serramento sia ben curata con l'introduzione di bande morbide con funzione anche fonoisolante (18). L'alto grado di prefabbricazione di questo sistema costruttivo permette di ovviare a qualsiasi inconveniente: nei pannelli intelaiati prefabbricati, i serramenti sono montati direttamente in fase di produzione, evitando così eventuali errori di posa in opera.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

LEGENDA

Parete esterna ventilata

1. Lastra in cartongesso sp. 12,5 mm
2. Lastra in gessofibra sp. 12,5 mm
3. Orditura in legno riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 50 mm
4. Pannello di chiusura a base legno sp. 12,5 mm
5. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
6. Pannello isolante ROCKWOOL TIMBEROCK sp. 160 mm
7. Pannello di chiusura a base legno sp.15 mm
8. Pannello isolante ROCKWOOL VENTIROCK DUO sp. 80 mm
9. Sottostruttura in alluminio di supporto al rivestimento/intercapedine ventilata sp. 50 mm*
10. Rivestimento a parete ventilata con lastre composite sottili ROCKPANEL

Solaio interno

11. Pavimento in legno duro sp. 15 mm
12. Sottofondo sp. 40 mm
13. Telo per il contenimento del getto del massetto
14. Pannello ROCKWOOL STEPROCK LD per isolamento acustico anti-calpestio sp. 20mm
15. Massetto alleggerito per passaggio impianti sp. 60 mm
16. Telo per il contenimento del getto del massetto
17. Pannello di chiusura a base legno sp. 20 mm
18. Pannello ROCKWOOL 220 sp. 100 mm
19. Pannello di chiusura a base legno sp. 15 mm
20. Controsoffitto con rivestimento in lastra in cartongesso sp. 12,5 mm
21. Angolari metallici di giunzione dei pannelli e nastratura per la tenuta all'aria
22. Tavola di bordo di chiusura del solaio
23. Materiale per taglio acustico
24. Battiscopa
25. Tassello per l'ancoraggio meccanico del pannello isolante

** Da valutare l'utilizzo di elementi di tenuta al vento, viste le peculiarità della tecnologia in legno.*

SOLAIO ESTERNO

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	43	cm
Trasmittanza termica	0,11	W/m^{2}K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,02	-
Sfasamento	15,44	h
Trasmittanza termica periodica	0,003	W/m^{2}K
Massa superficiale	185,35	kg/m^2
Costante di tempo	14,85	h

ANALISI TERMICA SOLAIO ESTERNO

Un solaio esterno realizzato con una struttura intelaiata, coibentata in intercapedine (18), raggiunge ottimi valori di trasmittanza termica, pari a circa 0,11 W/m^{2}K, con uno spessore di 43 cm. Lo sfasamento pari a circa 15 ore riduce in misura notevole l'escursione termica sulla faccia interna.

ANALISI IGROMETRICA

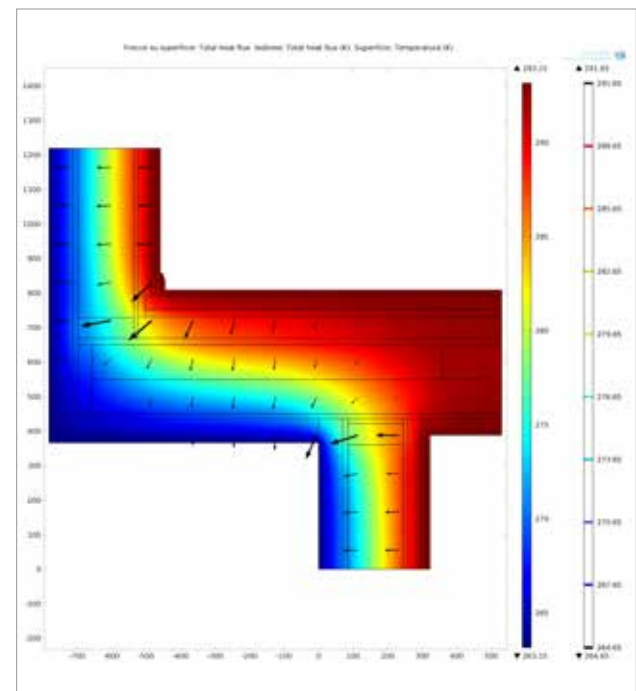
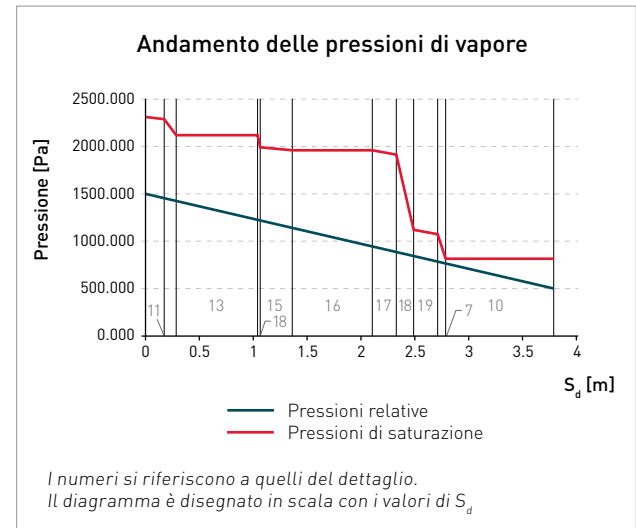
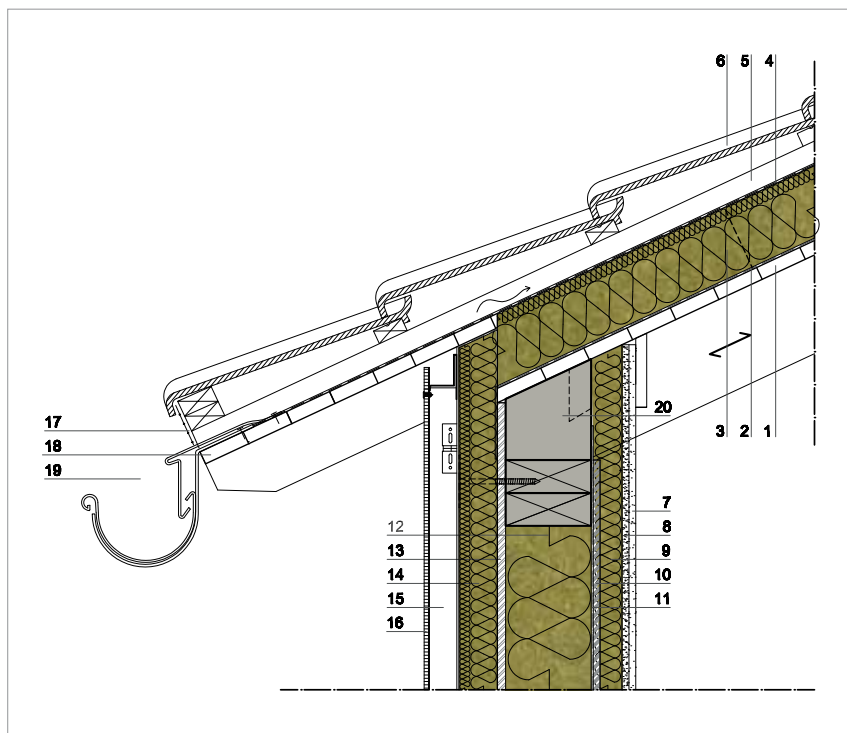
Facendo riferimento al grafico si evidenzia come la verifica di Glaser sia soddisfatta dal momento che la linea azzurra delle pressioni relative, date dalle condizioni climatiche reali, e la linea rossa delle pressioni di saturazione non s'intersecano in nessun punto interno alla parete. Da notare come la pressione di vapore subisca una rapida riduzione all'interno dello strato isolante (18), fenomeno che deve essere preso nella giusta considerazione al fine di non causare problemi negli strati successivi.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Una delle problematiche rilevanti nelle costruzioni a secco deriva dalla potenziale discontinuità geometrica e costruttiva che si può determinare tra i componenti con conseguente formazione di interruzioni dell'isolamento termico e della capacità di tenuta all'aria. Questo è molto probabile che possa avvenire in particolare nei nodi a due vie ad angolo. Inoltre in tale tipo di giunto c'è un'accentuazione della dispersione termica per geometria, come si vede dal diagramma di flusso termico a fianco. Per tali motivi è opportuno sigillare le linee di giunzione con nastri di tenuta e al contempo predisporre l'isolante senza determinare aree di discontinuità come nel dettaglio costruttivo in figura.

SPUNTI PROGETTUALI

In un edificio a pannelli intelaiati la realizzazione di uno sbalzo può essere ottenuta con la prosecuzione dell'orditura portante del solaio oltre il bordo esterno del pannello di parete. La correlazione tra i due avviene, come di solito, con viti e angolari previa interposizione di materiale resiliente per limitare la propagazione delle vibrazioni. Il ponte termico che si potrebbe generare per la sporgenza del solaio è risolvibile con la continuità dell'isolamento termico esterno realizzato con pannello ROCKWOOL VENTIROCK DUO sp. 80 mm (8) che per le sue caratteristiche è utilizzabile nella soluzione con parete ventilata come mostrato in figura. L'isolante posto nell'intercapedine, realizzato con doppio strato di pannelli ROCKWOOL 220 sp. 2x80 mm (18), oltre che a migliorare le prestazioni acustiche dell'involucro darà il suo contributo anche da un punto di vista termico, mentre il pannello ROCKWOOL STEPROCK LD sp. 20 (14) risolve il problema dei rumori da calpestio. Il giunto parete-solaio deve garantire la tenuta all'aria tramite l'utilizzo di specifici nastri (21) anche in corrispondenza degli elementi metallici di connessione.

LEGENDA

Solaio di copertura

1. Tavolato
2. Strato di controllo del vapore
3. Pannello ROCKWOOL DUROCK ENERGY sp.140 mm
4. Telo sottomanto impermeabile traspirante
5. Listellatura di supporto - intercapedine ventilata sp.40 mm
6. Manto di copertura

Parete esterna ventilata

7. Lastra in cartongesso sp.12,5 mm
8. Lastra in gessofibra sp.12,5 mm
9. Orditura in legno riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 50 mm
10. Pannello di chiusura a base legno sp. 12,5 mm
11. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
12. Pannello isolante ROCKWOOL TIMBEROCK sp. 160 mm
13. Pannello di chiusura a base legno sp.15 mm
14. Pannello isolante ROCKWOOL VENTIROCK DUO sp. 80 mm
15. Sottostruttura in alluminio di supporto al rivestimento / intercapedine ventilata sp. 50 mm*
16. Rivestimento a parete ventilata con lastre composite sottili ROCKPANEL
17. Rete di protezione dell'intercapedine di ventilazione
18. Tavolato di chiusura della parte sporgente dei passafuori
19. Gronda per il drenaggio delle acque meteoriche
20. Trave perimetrale con intaglio predisposto per l'aggancio dei travetti del solaio di copertura

** Da valutare l'utilizzo di elementi di tenuta al vento, viste le peculiarità della tecnologia in legno.*

COPERTURA INCLINATA

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	21	cm
Trasmittanza termica	0,23	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,71	-
Sfasamento	5,76	h
Trasmittanza termica periodica	0,16	W/m²K
Massa superficiale	38,15	kg/m²
Costante di tempo	23,93	h

ANALISI TERMICA COPERTURA

Un pacchetto di copertura realizzato con un tavolato (1) poggiato su travi a vista può presentare bassi valori di trasmittanza termica. Con una copertura inclinata ventilata (vedi figura), isolata esternamente con un pannello rigido ROCKWOOL DUROCK ENERGY (3) di 14 cm si raggiunge una trasmittanza termica pari a 0,23 W/m²K. Tale valore risulta compatibile con il limite definito dal D.P.R. 59/2009 per la zona climatica più restrittiva.

Il materiale isolante in copertura deve, ancor più che nella parete esterna, essere performante termicamente sia per le condizioni estive che per quelle invernali, in quanto la copertura è esposta a forte irraggiamento e ad ampie escursioni termiche. Il pacchetto di copertura in figura, pur essendo contenuto, presenta uno sfasamento di quasi 6 ore ed una

costante di tempo elevata (circa 31 ore), determinando una buona situazione per la riduzione dell'ampiezza della sollecitazione termica.

ANALISI IGROMETRICA

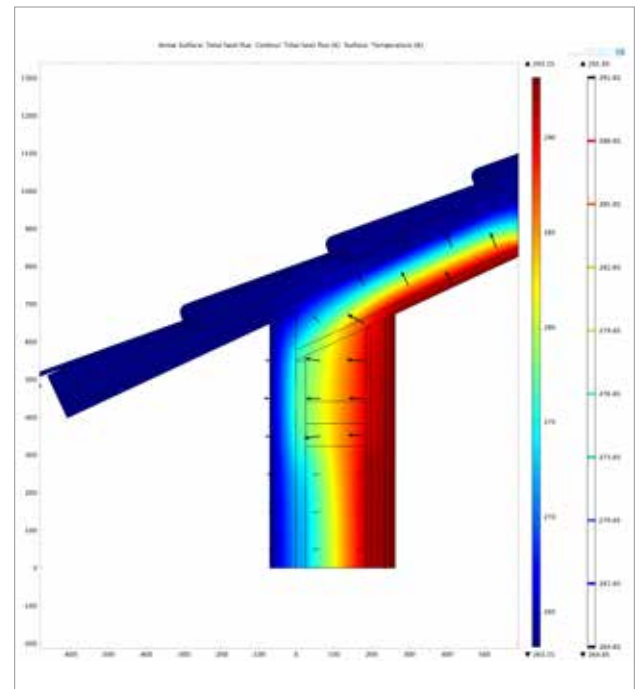
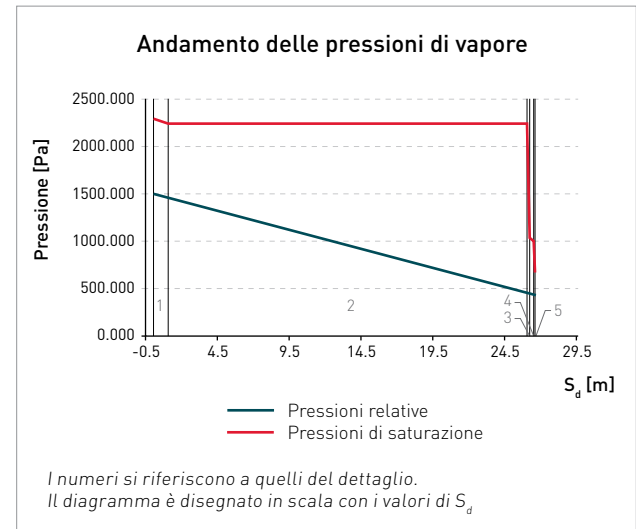
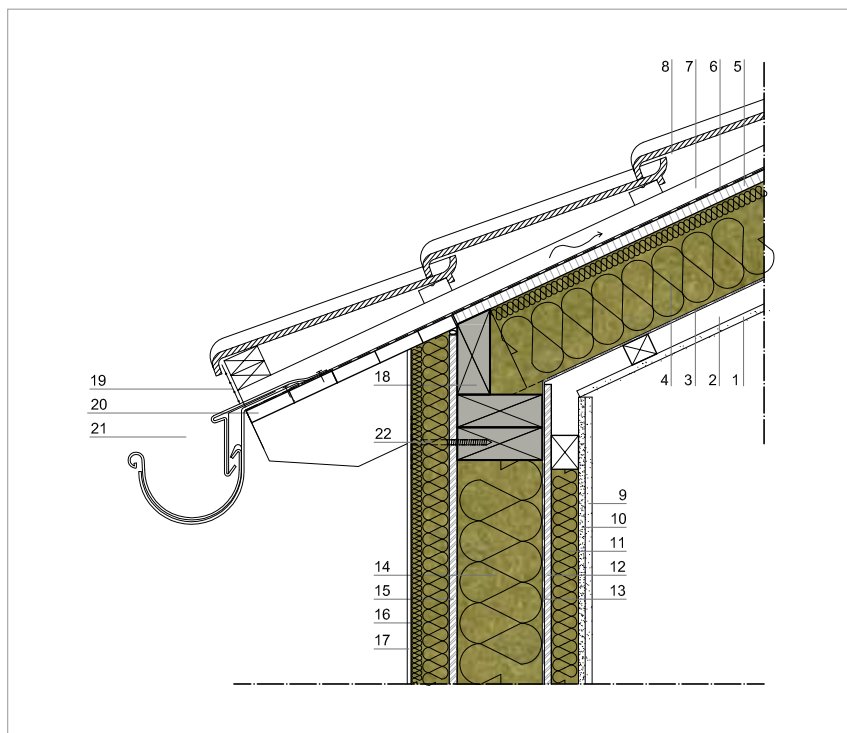
La verifica di Glaser è fortemente influenzata dall'inserimento del freno a vapore sul lato interno dello strato isolante (2). La verifica della stratigrafia riportata in figura, fatta nel mese con condizioni più restrittive e collocando l'edifico in zona F, risulta soddisfatta. Le linee della pressione di saturazione e delle pressioni relative si incrociano infatti sul lato esterno del telo laddove l'eventuale condensa viene rimossa dalla ventilazione sottomanto (5).

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Il giunto tra la copertura e la parete esterna rappresenta uno dei punti critici della struttura per via delle problematiche legate alla continuità dell'isolamento e alla tenuta all'aria. Va posta attenzione alla verifica dei ponti termici per geometria degli spigoli; come si osserva nel diagramma di flusso termico in questi punti la dispersione termica aumenta, per cui l'ottimale è mantenere la continuità del materiale isolante. Una scelta progettuale corretta, per evitare la formazione di un ponte termico, consiste nello scegliere materiali isolanti uguali/compatibili per spessore e conformazione tra parete e copertura, per facilitare la connessione fra le due superfici, come nel caso mostrato in figura. La copertura inclinata ventilata è isolata esternamente con un pannello rigido ROCKWOOL DUROCK ENERGY (3) a doppia densità, mentre la parete è coibentata con il pannello rigido ROCKWOOL VENTIROCK DUO (13), sempre a doppia densità. Il grafico di flusso termico conferma un andamento omogeneo delle isoterme nel raccordo, senza presentare zone critiche.

SPUNTI PROGETTUALI

La correlazione tra parete intelaiata e solaio di copertura inclinato avviene per il tramite di una trave perimetrale opportunamente sagomata ed intagliata (20) su cui si innestano i travetti di supporto della copertura. Questa soluzione viene spesso prediletta per la sua precisione di realizzazione, grazie al taglio degli elementi con macchine a controllo numerico, e la sua facilità di montaggio.

LEGENDA

Solaio di copertura

1. Lastra in cartongesso sp.12,5 mm
2. Struttura a orditura in legno (intercapedine 40 mm) controsoffitto per alloggiamento impianti
3. Strato di controllo del vapore
4. Pannello ROCKWOOL DUROCK ENERGY sp.160 mm
5. Pannello di chiusura a base legno sp. 20 mm
6. Telo sottomanto impermeabile traspirante
7. Listellatura di supporto - intercapedine ventilata sp.40 mm
8. Manto di copertura

Parete esterna intonacata

9. Lastra in cartongesso sp.12,5 mm
10. Lastra in gessofibra sp.12,5 mm
11. Orditura in legno riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 50 mm
12. Pannello di chiusura a base legno sp. 12,5 mm
13. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
14. Pannello isolante ROCKWOOL TIMBEROCK sp. 160 mm
15. Pannello di chiusura a base legno sp. 15 mm
16. Pannello isolante ROCKWOOL FRONTROCK MAX E sp. 80 mm
17. Finitura traspirante per cappotto su rasante con rete portaintonaco

18. Elemento sagomato a dente per passaggio dei passafuori
19. Rete di protezione dell'intercapedine di ventilazione
20. Tavolato di chiusura della parte sporgente dei passafuori
21. Gronda per il drenaggio delle acque meteoriche
22. Tassello per l'ancoraggio meccanico del pannello isolante

COPERTURA INCLINATA

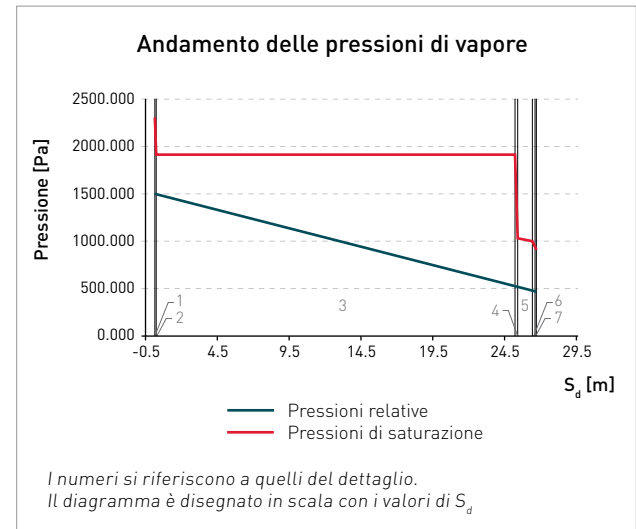
Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	28	cm
Trasmittanza termica	0,19	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,43	-
Sfasamento	9,08	h
Trasmittanza termica periodica	0,08	W/m²K
Massa superficiale	52,45	kg/m²
Costante di tempo	31,57	h

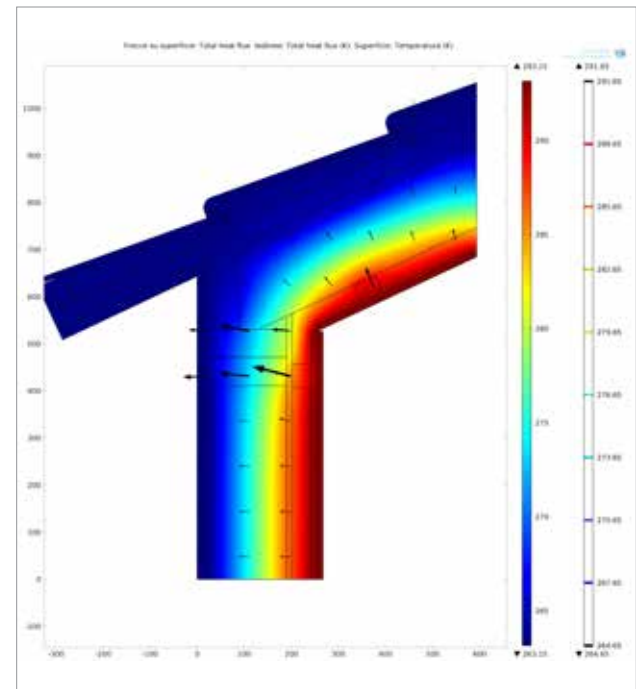
ANALISI TERMICA COPERTURA INCLINATA

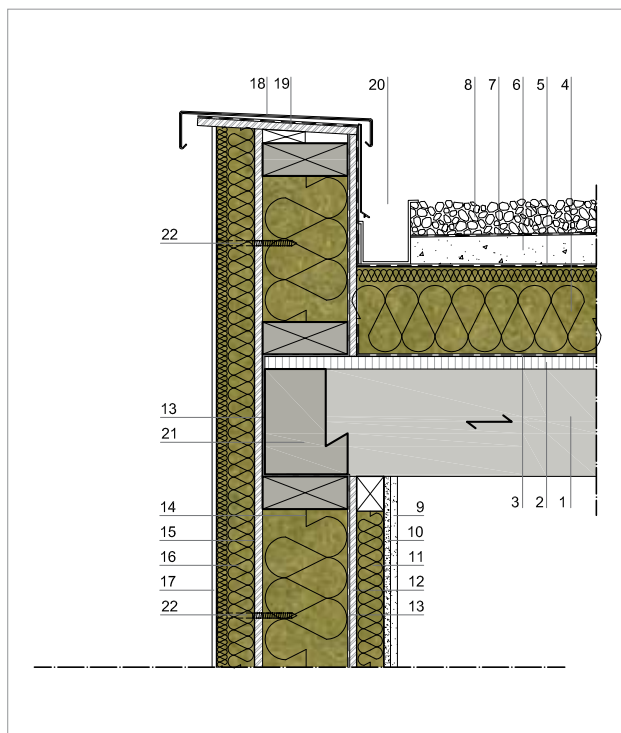
In una copertura inclinata realizzata con pannelli intelaiati, coibentata in intercapedine con pannelli isolanti DUROCK ENERGY di spessore 160 mm (4) si raggiunge un valore di trasmittanza termica pari a 0,19 W/m²K, inferiore al valore limite definito dal D.P.R. 59/2009, per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,23 W/m²K. La copertura presenta una costante di tempo di circa 33 ore ed un valore di sfasamento superiore alle 9 ore, garantendo così un buon comportamento in regime estivo.

ANALISI IGROMETRICA

La verifica di Glaser condotta sulla copertura nel mese con condizioni più restrittive, collocando l'edificio in zona F, è facilmente soddisfatta con l'applicazione di un freno a vapore sul lato caldo dello strato isolante (3). Particolare cura va posta nella scelta della guaina impermeabile sottomanto (6), che deve essere altamente traspirante in modo da non impedire la traspirazione negli strati e l'equilibrio igrometrico delle strutture.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Come si osserva nel diagramma di flusso termico nel giunto tra la copertura e la parete esterna la dispersione termica aumenta per geometria degli spigoli e, nel caso di pannelli intelaiati, per la presenza dei correnti orizzontali di parete. L'applicazione a cappotto dell'isolante esterno (16) e la coibentazione in copertura (4) garantisce tuttavia un andamento omogeneo delle isoterme nel raccordo, senza zone critiche.

SPUNTI PROGETTUALI

La correlazione fra parete intelaiata e solaio di copertura inclinata è realizzata collocando i travetti di supporto della copertura nello spessore dello strato isolante (4). Essi supportano così anche la gronda esterna, generando ponti termici che possono raggiugere anche valori elevati di dispersione termica. Per tale motivo a questa soluzione viene preferito l'utilizzo di travetti passafuori da collocare sopra il tavolato (vedi dettaglio a pag. 114).

LEGENDA

Solaio di copertura

1. Travi di sostegno della copertura
2. Pannello di chiusura a base legno sp. 20 mm
3. Strato di controllo del vapore
4. Pannello isolante ROCKWOOL HARDROCK MAX sp. 160 mm
5. Telo di contenimento del getto della soletta
6. Soletta debolmente armata per pendenza sp. minimo 40 mm
7. Guaina impermeabile traspirante
8. Ghiaia sp. 60 mm

Parete esterna intonacata

9. Lastra in cartongesso sp.12,5 mm
10. Lastra in gessofibra sp.12,5 mm
11. Orditura in legno riempita con pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 50 mm
12. Pannello di chiusura a base legno sp. 12,5 mm
13. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
14. Pannello isolante ROCKWOOL TIMBEROCK sp. 160 mm
15. Pannello di chiusura a base legno sp. 15 mm
16. Pannello isolante ROCKWOOL FRONTROCK MAX E sp. 80 mm
17. Finitura traspirante per cappotto su rasante con rete portaintonaco
18. Scossalina in lamiera metallica sagomata
19. Tavola di supporto per la scossalina
20. Canaletta di drenaggio delle acque meteoriche di copertura
21. Trave perimetrale con intaglio predisposto per l'aggancio dei travetti del solaio di copertura
22. Tassello per l'ancoraggio meccanico del pannello isolante

COPERTURA PIANA

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	31	cm
Trasmittanza termica	0,22	W/m^{2}K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,43	-
Sfasamento	10,35	h
Trasmittanza termica periodica	0,10	W/m^{2}K
Massa superficiale	264,43	kg/m^2
Costante di tempo	33,35	h

ANALISI TERMICA COPERTURA PIANA

In una copertura realizzata con un tavolato (2) poggiante su un'orditura di travi a vista (1), isolato all'estradosso con pannelli ROCKWOOL HARDROCK MAX sp.160 mm (4), si raggiunge, con uno spessore di 31 cm un valore di trasmittanza termica pari a 0,22 W/m^{2}K, inferiore al valore limite definito dal D.P.R. 59/2009, per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,23 W/m^{2}K.

La stessa stratigrafia presenta una costante di tempo pari a 33 ore che porta lo sfasamento a superare le 10 ore. La copertura risulta sicuramente efficiente in regime estivo, caratteristica molto importante in quanto essa risulta soggetta a forte irraggiamento diretto.

ANALISI IGROMETRICA

La copertura piana presenta la necessità, più che in altri punti nodali, di garantire sia un buon equilibrio igrometrico della stratigrafia sia la totale impermeabilità agli agenti esterni. Tale esigenza è stata risolta con l'interposizione di una guaina/freno a vapore in corrispondenza del lato caldo dello strato isolante (3) e di una guaina impermeabile traspirante sul lato freddo (7). L'andamento della pressione di saturazione è fortemente influenzato da tali guaine. Vi è un brusco abbassamento della pressione nello strato isolante (4), a cui bisogna prestare particolare attenzione. La verifica risulta ugualmente soddisfatta.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

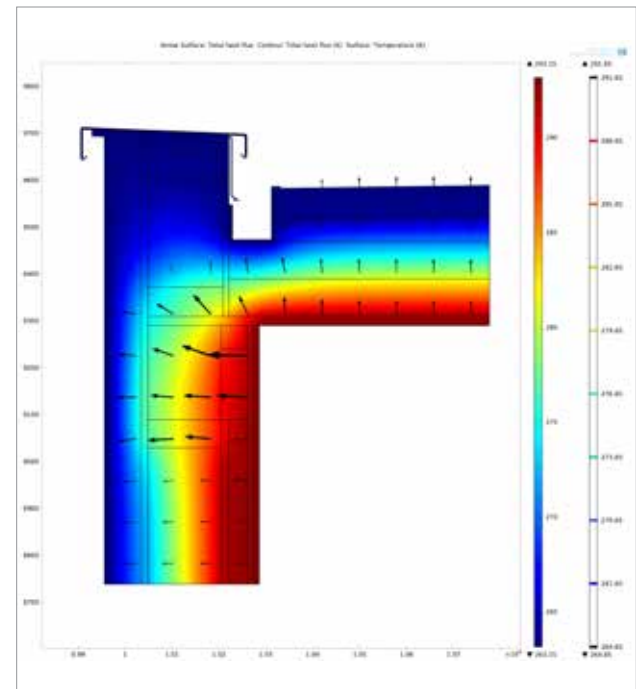
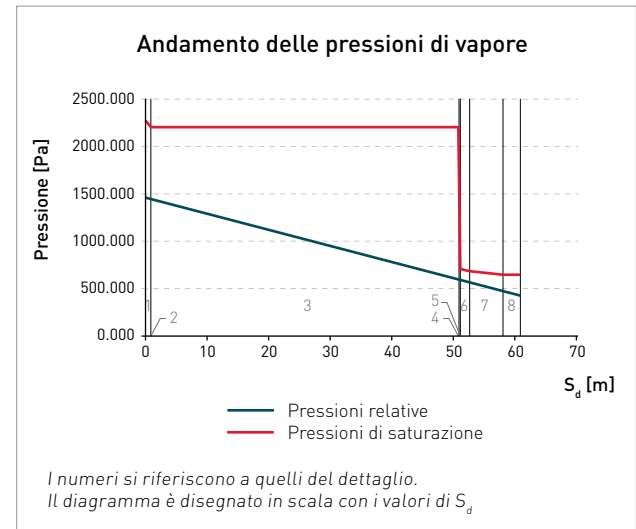
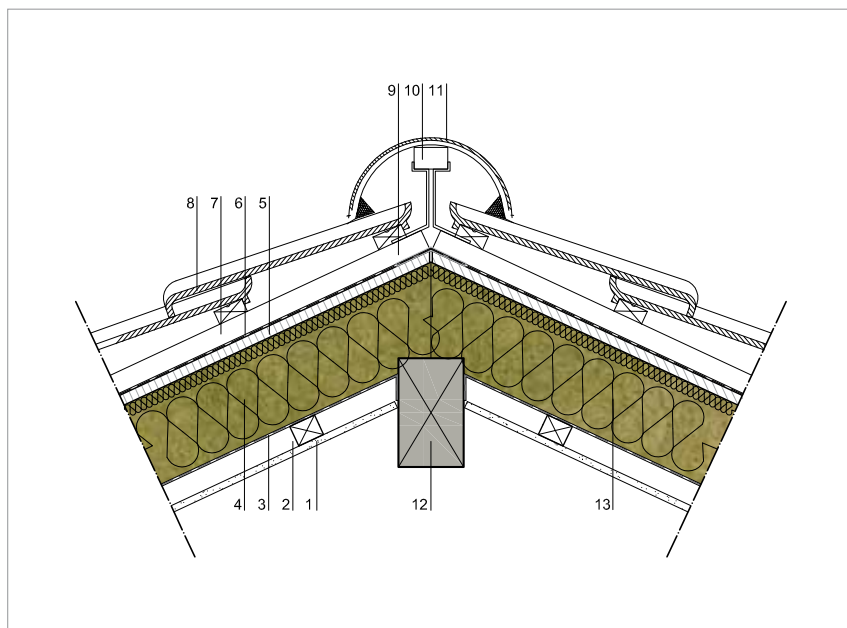
FLUSSO TERMICO DEL NODO

Il nodo costruttivo esaminato non presenta particolare criticità dal punto di vista del fenomeno del ponte termico. La continuità dello strato isolante esterno assicura un andamento delle isoterme uniforme e senza dispersioni termiche evidenti o puntuali. Si può notare come vi sia un'accentuazione del flusso termico in generale, dovuta alla conformazione geometrica a spigolo, ma come essa sia controllata e non problematica.

SPUNTI PROGETTUALI

Negli edifici a pannelli intelaiati il solaio di copertura piano ha le stesse caratteristiche costruttive di quelli intermedi. Le differenze sono solo a livello di stratificazione dei materiali della finitura all'estradosso che devono essere tali da assicurare le richieste prestazioni relative alla tenuta all'acqua e all'isolamento termo-acustico.

Una volta completata l'orditura e l'impalcato si dispone una membrana per il controllo del vapore (3) sulla quale si dispongono i pannelli isolanti (4) idonei ad assicurare alla copertura prestazioni termiche analoghe o superiori a quelle delle pareti. Sopra i pannelli viene effettuato un getto di calcestruzzo alleggerito (6) per la formazione delle pendenze, previa interposizione di un telo di contenimento (5).

Per garantire la necessaria tenuta all'acqua viene posta sul getto una guaina impermeabile (7) che verrà protetta con un pavimento o con uno strato di ghiaia (8) o terra successivamente inerbita per dare luogo ad un tetto giardino.

LEGENDA

Solaio di copertura

1. Lastra in cartongesso sp.12,5 mm
2. Struttura ad orditura in legno (40 mm) controsoffitto per alloggiamento impianti
3. Strato di controllo del vapore
4. Pannello ROCKWOOL DUROCK ENERGY sp.160 mm
5. Pannello di chiusura a base legno sp. 20 mm
6. Telo sottomanto impermeabile traspirante
7. Listellatura di supporto - intercapedine ventilata sp.40 mm
8. Manto di copertura
9. Nastratura di tenuta al vento
10. Listello sottocolmo
11. Coppo sagomato di colmo
12. Trave di colmo a vista
13. Correntini dei pannelli intelaiati di copertura

COPERTURA INCLINATA

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	28	cm
Trasmittanza termica	0,19	W/m^{2}K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,43	-
Sfasamento	9,08	h
Trasmittanza termica periodica	0,08	W/m^{2}K
Massa superficiale	52,45	kg/m^2
Costante di tempo	31,57	h

ANALISI TERMICA COPERTURA INCLINATA

In una copertura inclinata realizzata con pannelli intelaiati, coibentata in intercapedine con pannelli isolanti DUROCK ENERGY di spessore 160 mm (4) si raggiunge un valore di trasmittanza termica pari a 0,19 W/m^{2}K, inferiore al valore limite definito dal D.P.R. 59/2009, per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,23 W/m^{2}K. La copertura presenta una costante di tempo di quasi 32 ore ed un valore di sfasamento superiore alle 10 ore, garantendo così un buon comportamento prestazionale in regime estivo.

ANALISI IGROMETRICA

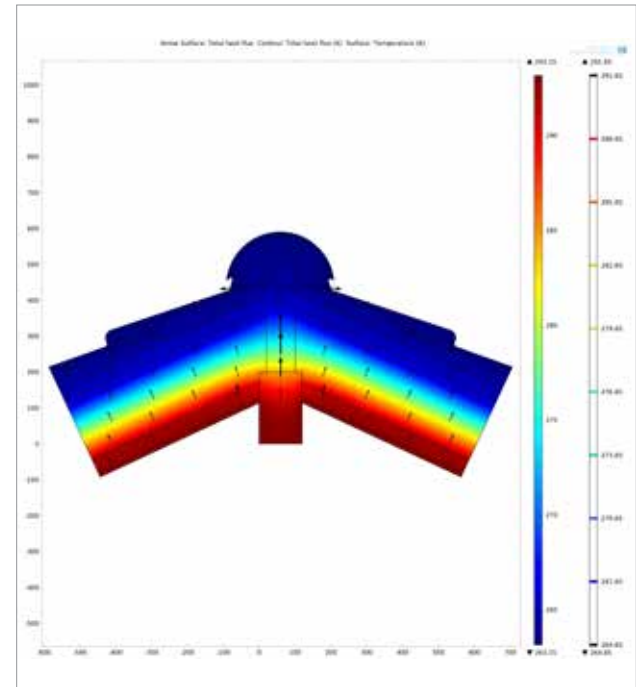
La verifica di Glaser condotta sulla copertura nel mese con condizioni più restrittive, collocando l'edificio in zona F, è facilmente soddisfatta con l'applicazione di un freno a vapore sul lato caldo dello strato isolante (3). Particolare cura va posta nella scelta della guaina impermeabile sottomanto (6), che deve essere traspirante in modo da non impedire la traspirazione della stratigrafia e l'equilibrio igrometrico delle strutture.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Una delle problematiche rilevanti nelle costruzioni a secco deriva dalla potenziale discontinuità geometrica e costruttiva che si può determinare tra i componenti con conseguente formazione di interruzioni dell'isolamento termico e della capacità di tenuta all'aria. In questo caso non si presentano particolare dispersioni termiche, in quanto la continuità del filo dell'isolamento (4) è facilmente raggiungibile. L'isolamento potrà essere incentivato con l'introduzione di un pannello ROCKWOOL 220 (2) all'intradosso tra la finitura in cartongesso e la struttura in legno.

SPUNTI PROGETTUALI

Nel sistema a pannelli intelaiati il solaio inclinato di copertura ha le stesse caratteristiche costruttive di quelli intermedi, ma diversa giacitura, risulta inclinato e, in genere realizzato con due falde contrapposte. Per tale conformazione le travi secondarie si configurano come falsi puntoni e poggiano da un lato sui pannelli perimetrali, dall'altro sul colmareccio (12). Tra i falsi puntoni sono disposti pannelli isolanti con uno spessore idoneo a garantire capacità di prestazione analoghe o superiori a quelle delle pareti. Sul tavolato, che costituisce l'impalcato, si pone un telo impermeabile traspirante per garantire l'impermeabilità della copertura in caso di rottura del manto che in genere è realizzato con materiali diversi come, tegole, coppi, alluminio, rame, ecc. Il manto di copertura è in genere correlato all'impalcato con una doppia orditura di listelli in metallo o legno, talvolta, opportunamente conformati in modo da favorire la ventilazione sottomanto (tetto ventilato).

3.3 NUOVO BLOCKBAU

3.3.1 Generalità

Con il sistema costruttivo blockbau si realizzano edifici a setti portanti sovrapponendo elementi lineari a giacitura orizzontale (Figura 3.31). Nelle prime realizzazioni gli elementi costruttivi base erano tronchi tondi scortecciati o squadrati all'ascia. La tenuta all'acqua e all'aria erano garantite con un'opportuna conformazione lungo la linea di contatto e/o con l'interposizione di elementi vegetali, talvolta misti a terriccio (Figura 3.32). La conformazione del giunto era tale da assicurare inoltre il contatto longitudinale fra gli elementi, così da evitare qualsiasi infiltrazione (Figura 3.33). Per realizzare l'intersezione ortogonale di due setti, ogni elemento costruttivo era conformato alle estremità in modo da costituire una sorta di semincastro e da garantire che i setti potessero collaborare quando sollecitati sul piano orizzontale e/o verticale (Figura 3.34).

Il sistema è conosciuto anche con l'ulteriore dizione di *Cabin system*, *Blockhaus* o *Log House* ed è molto diffuso in Europa Centro-Settentrionale e in Nordamerica per la realizzazione di edifici di 1-2 piani raramente di 3 o più piani. In linea di principio il materiale è utilizzato in maniera non dissimile dai conci della muratura: è quindi un sistema che gestualmente nasce dalla sovrapposizione di elementi. In alcuni Paesi, come la Norvegia, veniva considerata una tecnica povera perché, per la semplicità dell'assemblaggio degli elementi costruttivi base, aveva una larga diffusione soprattutto nella realizzazione di edifici di scarsa rilevanza architettonica. La tecnica del blockbau non è molto coerente con le caratteristiche di resistenza del materiale impiegato, in quanto esso è sottoposto a compressione nella direzione ortogonale alle fibre, che è quella meno consona alle capacità del legno.

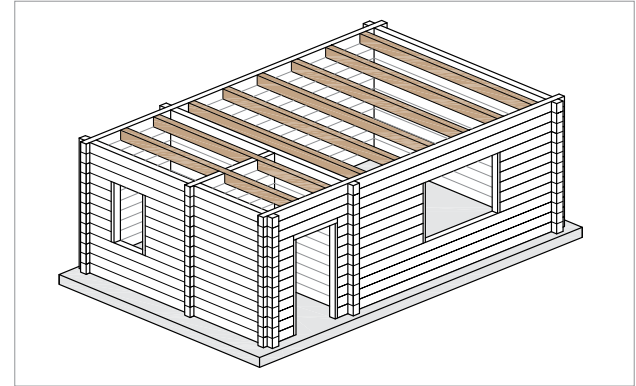



Figura 3.31 - Il sistema costruttivo blockbau.

Figura 3.32 - Sistemi di sigillatura con materiali naturali.

Figura 3.33 - Realizzazione del giunto continuo tra due tronchi.

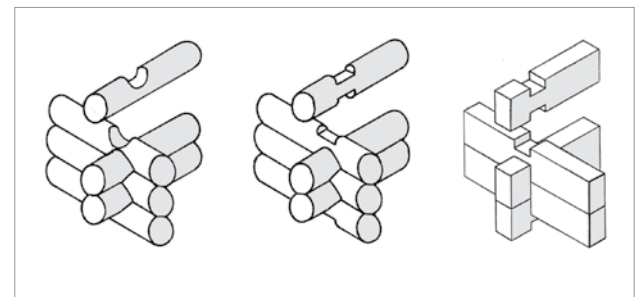



Figura 3.34 - Soluzioni d'angolo.

Figura 3.35 - Unità abitativa monofamiliare in Russia.

Figura 3.36 - Il new blockbau.

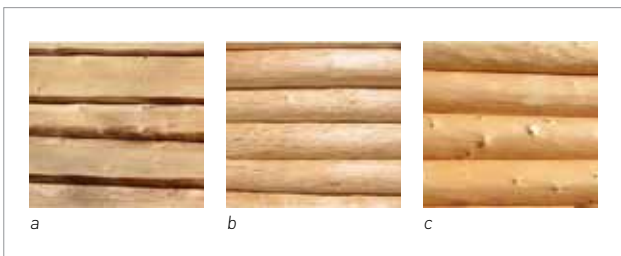



Figura 3.37 - Soluzioni costruttive a tronchi:
a) rifilati; b) piallati; c) trattati ad alta pressione.

Oggi le costruzioni con elementi sovrapposti stanno destando un nuovo interesse per motivi economici e, per i più sensibili all'argomento, anche ambientali, visto il limitato uso di colle ed elementi metallici e la facilità nella dismissione e nello smaltimento dell'edificio. Inoltre, lo sviluppo di nuove tecnologie nel settore delle costruzioni e della prefabbricazione ha permesso di migliorare il comfort abitativo, riducendo le problematiche connesse alle dispersioni termiche e alle infiltrazioni d'aria nella realizzazione delle connessioni. Nuove soluzioni architettoniche, consentite anche dall'affinamento delle tecniche costruttive, hanno rivalutato in maniera rilevante l'utilizzo del sistema, soprattutto in Russia e nei Paesi dell'Europa centrale dove, peraltro, ha avuto sempre larga diffusione (Figura 3.35).

Nelle realizzazioni attuali i setti sono costituiti da elementi, in legno massiccio o lamellare, con analoga disposizione e logica costruttiva a quella tradizionale (Figura 3.36). La differenza è nella modalità realizzativa, totalmente meccanizzata e automatizzata. Con le macchine a controllo numerico è possibile conformare al bordo e in testa gli elementi costruttivi con tolleranze dell'ordine del millimetro. Questo garantisce la facilità di assemblaggio e la quasi totale certezza che i giunti risultino a tenuta. Per maggiori sicurezza e garanzia vengono disposti, nelle giunzioni, materiali morbidi per aumentare le capacità isolanti.

Gli elementi costruttivi attualmente presenti sul mercato sono di sezioni diverse, tonde o squadrate. Le sezioni tonde sono ottenute con tronchi di legno massiccio scortecciati, rifilati, piallati o trattati ad alta pressione (Figura 3.37 a,b,c).

Il diametro dei singoli elementi è variabile, generalmente compreso fra gli 150 ed i 250 mm (Figura 3.38). Gli elementi squadrati sono in genere "compositi", costituiti da due o più lamelle incollate (bilama o trilama) in funzione dello spessore. La larghezza dei singoli elementi di parete è variabile, generalmente compresa fra gli 80 ed i 240 mm (Figura 3.39) e la loro lunghezza può raggiungere la dimensione commerciale massima di 13 m. Gli elementi costruttivi usati per la produzione devono rispettare i medesimi criteri delle tavole per la produzione di legno lamellare incollato, classificate secondo la resistenza e appartenenti ad una ben precisa classe. Generalmente si adottano le classi C24, per quelli di legno massiccio, e GL24h per quelli in lamellare.

Gli elementi costruttivi presentano una maschiatura (doppia, tripla o quadrupla a seconda degli spessori) ed un incastro alle estremità, per facilitarne la sovrapposizione e soprattutto per conferire maggiore solidità e rigidità alla parete stessa (Figura 3.40). La particolare conformazione al bordo determina anche una buona protezione all'eventuale penetrazione dell'acqua meteorica e, con l'interposizione di materiali elastici, impedisce il passaggio dell'aria dall'interno all'esterno.

Gli elementi sono realizzati quasi esclusivamente con legni di conifera (abete rosso, pino, larice e abete Douglas). Alcune aziende utilizzano ancora alla base del setto, secondo il metodo tradizionale, legni in quercia, particolarmente resistenti agli agenti atmosferici e all'acqua. Il contenuto medio di umidità degli elementi della parete non deve mai superare il 20%, ma preferibilmente attestarsi al 12%, con un'escursione massima fino al 18%. In queste condizioni si eviteranno deformazioni da ritiro, crepe e formazioni di funghi.

Nella tradizione costruttiva del blockbau la parte resistente degli orizzontamenti intermedi era realizzata con la tecnica del panconato, ovvero con tronchi affiancati l'uno all'altro, sui quali veniva realizzato un tavolato continuo (Figura 3.41). Un'altra soluzione costruttiva prevedeva i tronchi distanziati, ad un interasse di 40-50 cm, e un'orditura secondaria posta su di essi che portava il tavolato. Gli stessi criteri erano applicati nella realizzazione della parte resistente della copertura con i tronchi disposti ortogonalmente o parallelamente alla pendenza del tetto.

Oggi per la realizzazione dei solai vengono applicati analoghi concetti, spesso con l'utilizzo di elementi portanti in legno massiccio o lamellare di dimensioni ed interasse variabili a seconda dell'esigenze statiche (Figura 3.42). Le nuove tecniche costruttive hanno, però, consentito varianti rispetto a quelle tradizionali.

La più rilevante, per quanto riguarda le coperture, è quella a falsi puntoni con colmareccio. Questa tecnica è resa possibile dalla precisione con la quale si può conformare al bordo l'elemento di chiusura della parte alta del setto. Solitamente, per edifici residenziali di modeste dimensioni, le misure più ricorrenti dei falsi puntoni sono 8-12 cm di larghezza per 16-20 cm di altezza, con un interasse di circa 80-100 cm. Sopra la struttura portante viene solidarizzato un tavolato, su cui viene poi disposto l'isolamento termico e il manto.

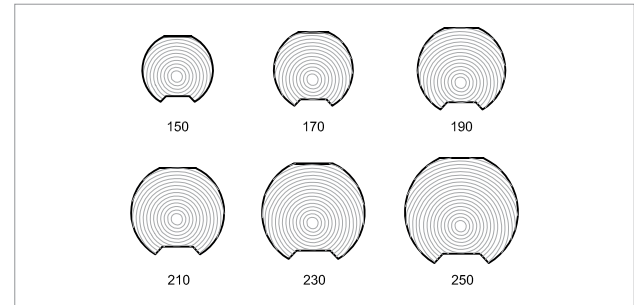



Figura 3.38 - Dimensioni trasversali standard maggiormente diffuse per elementi "tondi".

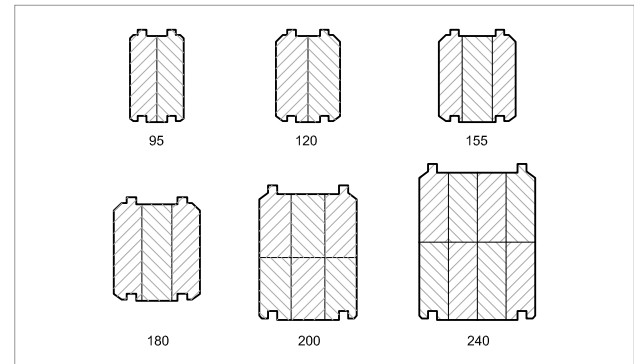



Figura 3.39 - Dimensioni trasversali standard maggiormente diffuse per elementi squadrati.

Figura 3.40 - Setto realizzato con elementi compositi squadrati.

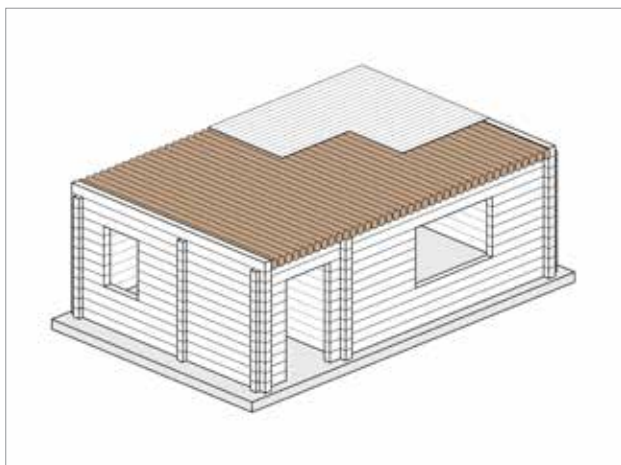



Figura 3.41 - Solaio realizzato con un panconato.

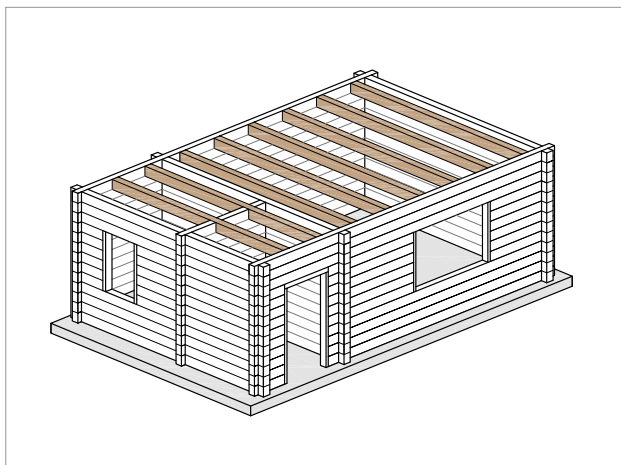



Figura 3.42 - Orditura dei solai con elementi portanti in legno lamellare.

Nella progettazione di edifici blockbau, si deve tener adeguatamente conto delle caratteristiche particolari del materiale legno. Nella trasmissione dei carichi verticali, infatti, gli elementi sono sollecitati a compressione in direzione ortogonale alla fibratura. In questa condizione il legno si presenta meno efficiente con valori di resistenza e rigidezza ridotti e le deformazioni in tale direzione possono causare degli assestamenti anche importanti.

	εT	εR	εL
Conifere	0,24	0,12	0,01
Latifoglie	0,40	0,20	0,01

Tabella 3.8 - Coefficienti di variazione dimensionale e per variazioni percentuali unitarie, $\Delta\mu$ = 1% di umidità all`interno del campo igroscopico.

Come si vede dalla tabella 3.8, il ritiro del materiale legnoso in direzione trasversale alle fibre (direzione tangenziale e radiale), è maggiore rispetto alla direzione longitudinale. Nel caso di deformazioni radiali, si ha un ritiro di 1/1000 per variazione di un 1% di umidità, la cui valutazione diventa quindi fondamentale nel caso della parete in blockbau. Se gli elementi lignei sono posti in opera con valori di umidità prossimi a quelli di equilibrio con l'ambiente, queste variazioni non sono di per sé preoccupanti e possono essere trascurate. In caso contrario, se il materiale non viene correttamente stagionato, con variazioni di umidità anche superiori al 10% si possono avere delle deformazioni sensibili. Si comprende come un prerequisito importantissimo per tale tipologia costruttiva sia la corretta stagionatura del materiale utilizzato. Nella tecnica tradizionale del blockbau che prevedeva l'utilizzo di tronchi scortecciati e lavorati, tale aspetto poteva rappresentare effettivamente un problema, data la difficoltà di portare gli elementi tondi di legno massiccio alle condizioni di equilibrio in tempi ragionevoli. Oggi l'uso di legni compositi (lamellare, bilama, trilama) realizzati con tavole di piccole dimensioni favorisce la stagionatura con un processo di essiccatura più controllato e con un ritiro in direzione trasversale più contenuto.

Un certo grado di deformazione verticale è tuttavia inevitabile e deve essere opportunamente compensato con la presenza di guarnizioni morbide poste tra i giunti longitudinali e soprattutto in corrispondenza dei giunti nodali d'intersezione delle pareti. Un altro accorgimento prevede l'utilizzo di opportune zone "cuscinetto" o meglio zone di deformazione a scomparsa di alcuni centimetri, che possano consentire il naturale assestamento. Costruttivamente questo si ottiene collocando una trave flottante oppure una cavità d'aria di alcuni centimetri in prossimità di architravi ed elementi simili, che non possono adattarsi.

3.3.2 Connessioni e montaggio

La correlazione con il terreno in un edificio a blockbau avviene per il tramite di un solaio controterra o di elementi puntuali. Nel caso di solaio controterra, la chiusura orizzontale di base è costituita da un vespaio areato. Il primo legno di ogni pannello di parete è isolato opportunamente dall'acqua con una guaina impermeabile per evitare umidità di risalita, in quanto le pareti poggiano direttamente sulla fondazione oppure su un cordolo in legno di larice. Tale problematica non sussiste nel caso di fondazione ad elementi puntuali (Figura 3.43).

L'ancoraggio al terreno del primo elemento giacente direttamente sulla fondazioni può avvenire con tirafondi metallici, annegati nel getto di calcestruzzo e vincolati all'elemento stesso con dado e rondella. Analogo sistema viene utilizzato per solidarizzare tra loro i tronchi o le travi orizzontali. In questo caso si usano delle barre d'acciaio o dei tasselli di legno di lunghezza pari all'altezza della parete e poste in corrispondenza delle estremità della parete stessa e delle aperture. Questa soluzione costruttiva evita che la parete si sollevi quando viene caricata da azioni orizzontali nel proprio piano; funzione analoga dagli hold-down nei sistemi a pannelli XLam e intelaiati.

La correlazione fra due pareti ortogonali deve garantire una buona compartecipazione delle stesse. A tal fine la lavorazione delle teste degli elementi è realizzata mediante intagli o connessioni di carpenteria, fra le quali le più diffuse sono:

- nodo "*a croce*" o "*standard*" (Figura 3.44)
- nodo "*a coda di rondine*" (Figura 3.45).

Figura 3.43 - Correlazione con il terreno con elementi puntuali.

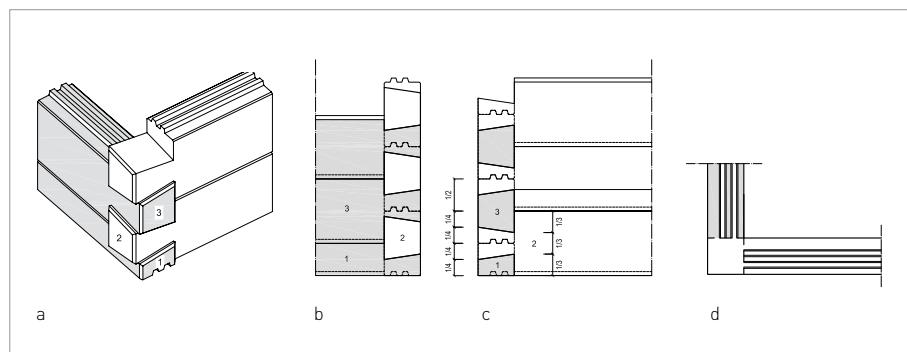



Figura 3.45 - Giunzione ad angolo a coda di rondine (a). Vista frontale (b), vista laterale (c), pianta (d).

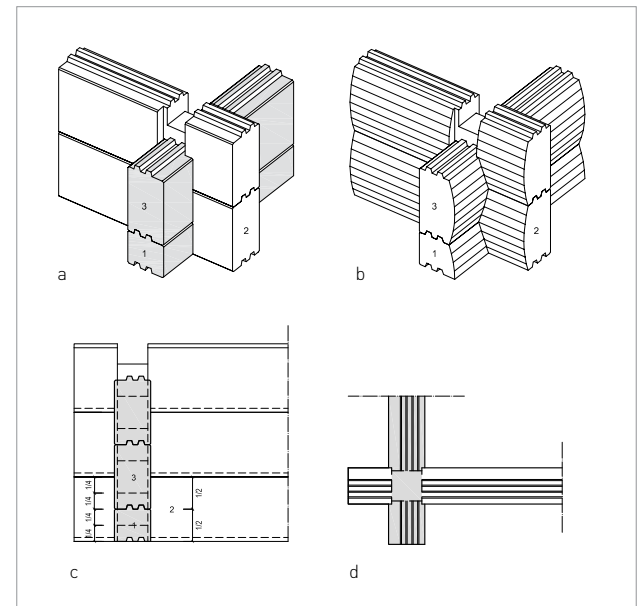



Figura 3.44 - Giunzione ad angolo a croce di pareti con elementi squadrati (a) e bombati (b). Vista frontale (c) e in pianta (d) del nodo a due vie ortogonali.

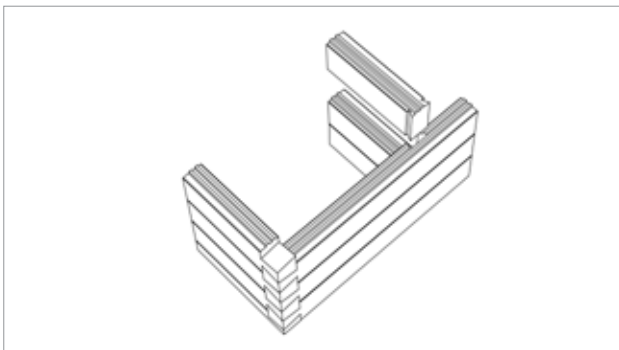



Figura 3.46 - Correlazione parete interna-esterna a coda di rondine.

Figura 3.47 - Evidenza della presenza delle pareti interne in un edificio storico (Røros - Norvegia).

Staticamente le due soluzioni presentano valori di resistenza a taglio differenti a causa delle differenti aree resistenti di intaglio [24].

La correlazione tra pareti esterne e interne è realizzata mediante intaglio a coda di rondine, che non attraversa tutto lo spessore del setto, ma solo una porzione (Figura 3.46). In questo modo la parete esterna rimane continua e non si individua dall'esterno la posizione di quella interna al contrario di quanto avveniva nelle realizzazioni del passato (Figura 3.47).

Nel caso in cui la distanza tra pareti controventanti sia troppo elevata (maggiore di circa 4 m) è necessario introdurre altri elementi, ad esempio pilastri connessi all'interno alla parete per mezzo di cunei di legno con doppio intaglio a coda di rondine (Figura 3.48). In questo modo viene simulata la presenza di una parete interna ortogonale. Il differente orientamento delle fibre del pilastro, rispetto a quelle degli elementi costruttivi della parete, comporta una diversa deformabilità e un differente assestamento. Per tale motivo, le correlazioni del pilastro in fondazione e in sommità devono essere realizzate tramite dispositivi che possano essere regolati in altezza, così da evitare il generarsi di tensioni dovute a "deformazioni impedite" a seguito del naturale assestamento.

Nel caso di pareti doppie si possono avere le giunzioni ad angolo di figura 3.49.

Figura 3.48 - Connessione pilastro-parete esterna.

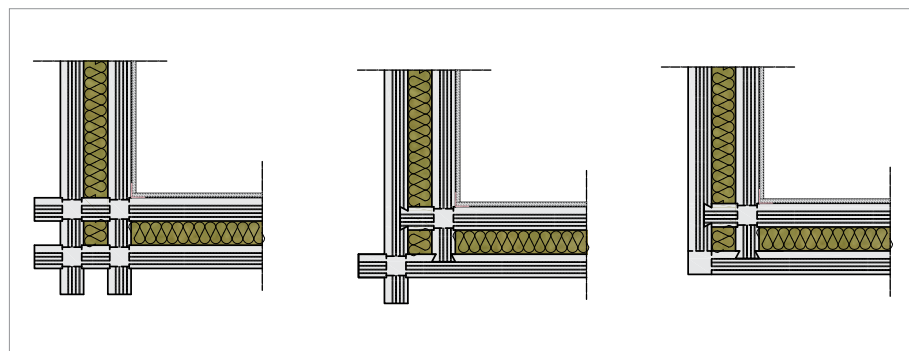



Figura 3.49 - Giunzioni ad angolo di pareti doppie.

3.3.3 Caratteristiche costruttive del sistema ai fini del comfort termo-igrometrico

Nel sistema costruttivo blockbau l'involucro, se costituito solamente dai setti portanti, non è in grado di garantire prestazioni adeguate per assicurare buone condizioni di comfort ambientale. I setti dovranno pertanto essere integrati con strati di materiale isolante con le tipologie esemplificative indicate in figura 3.50.

In questo caso assume rilevanza la posizione reciproca setto-isolante. La soluzione ottimale sarebbe quella di disporre l'isolante sulla faccia esterna del setto portante, in modo che quest'ultimo si trovi sul lato caldo della parete, garantendo così un migliore comportamento termo-igrometrico dell'involucro relativamente alla dispersione termica e alla condensazione interstiziale. Così facendo verrebbero persi però i caratteri distintivi del sistema, in quanto non si rileggerebbe più, dall'esterno, la trama determinata dagli elementi orizzontali. Solitamente chi realizza edifici in blockbau preferisce lasciar a vista la parete portante in legno sia per rievocare una tecnologia tradizionale che per evidenziare la tecnica con la quale l'edificio è realizzato.

La soluzione più ricorrente consiste nel porre l'isolante sul lato interno delle pareti e rivestirlo con pannellature in legno o cartongesso (Figura 3.50 b). Quella che ottimizza in termini materici percettivi e al contempo è formalmente più coerente con il procedimento, è la soluzione che prevede la realizzazione di una doppia parete con interposto del materiale isolante (Figura 3.48c) fibroso, come la lana di roccia, con funzione di coibentazione termica ed abbattimento acustico.

Per rendersi conto della capacità di isolamento termico di una parete blockbau in rapporto al suo spessore e alla sua conformazione, nelle tabelle alla pagina seguente si riportano i valori della trasmittanza per tre diverse tipologie di parete con diversa stratificazione.

Nel caso di una parete realizzata con il solo setto portante blockbau (Figura 3.50 a) la trasmittanza risulta molto elevata ed ha valori, oggi inaccettabili, compresi tra 1,27 W/m^{2}K e 0,71 W/m^{2}K come si evince dalla tabella 3.9.

La trasmittanza rientra in valori accettabili quando la parete ha una coibentazione interna e rivestimento in perline (Figura 3.50 b). In questo caso, come si vede dalla tabella 3.10, i valori della trasmittanza sono compresi tra 0,30 e 0,19 W/m^{2}K.

Si hanno valori migliori della trasmittanza con la parete doppia e interposto strato isolante (Figura 3.50 c). In questo caso, vedi tabella 3.11, i valori variano tra 0,26 e 0,16 W/m^{2}K.

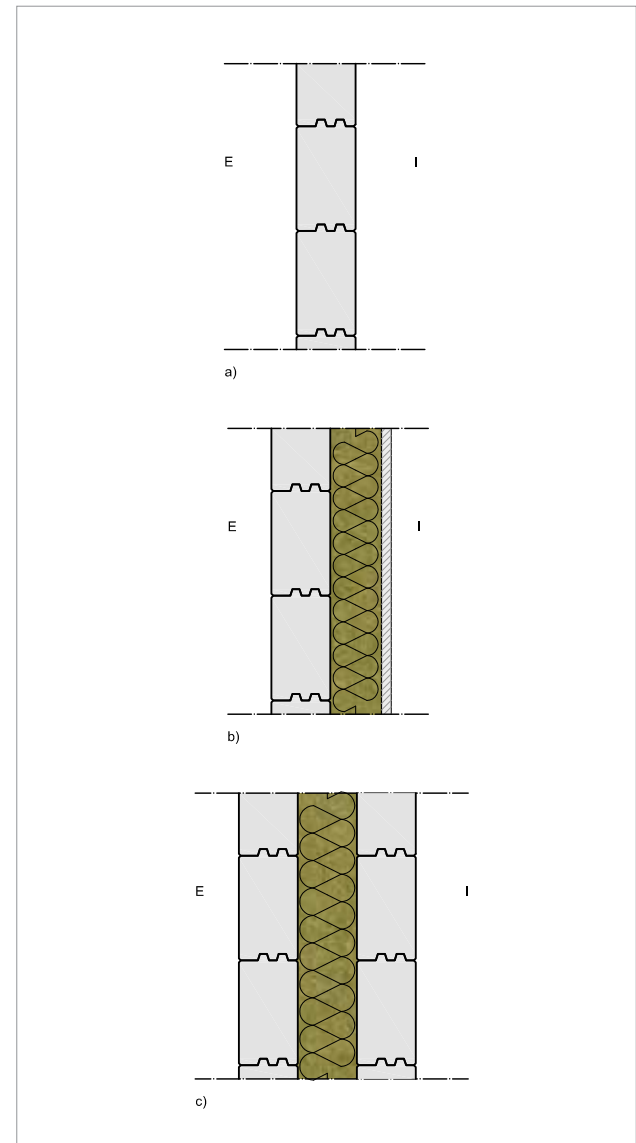



Figura 3.50 - Setti in blockbau:
a) senza isolante
b) parete semplice con isolante interno
c) parete doppia con isolante interposto.

Spessore parete blockbau	U [W/m² K]
80 mm	1,27
100 mm	1,06
120 mm	0,91
160 mm	0,71

Tabella 3.9 - Valori di trasmittanza per setti portanti blockbau al variare dello spessore.

Spessore parete blockbau	Isolamento in lana di roccia	Rivestimento in perline	Spessore totale	U [W/m² K]
80 mm	80 mm	28 mm	195 mm	0,30
80 mm	100 mm	20 mm	207 mm	0,25
120 mm	100 mm	20 mm	247 mm	0,24
160 mm	120 mm	28 mm	315 mm	0,19

Tabella 3.10 - Valori di trasmittanza parete in blockbau con coibentazione interna e rivestimento in perline.

Spessore parete blockbau	Isolamento in lana di roccia	Rivestimento in perline	Spessore totale	U [W/m² K]
120 mm	50 mm	120 mm	290 mm	0,26
90 mm	60 mm	90 mm	240 mm	0,24
90 mm	100 mm	90 mm	280 mm	0,22
120 mm	100 mm	120 mm	340 mm	0,20
90 mm	120 mm	90 mm	300 mm	0,19
160 mm	120 mm	160 mm	440 mm	0,16

Tabella 3.11 - Valori di trasmittanza doppia parete in blockbau con coibentazione interposta.

Analogamente a quanto succede con altri sistemi costruttivi in legno le pareti in blockbau non raggiungono, salvo casi eccezionali, il valore della massa superficiale Ms di 230 kg/m^2. È però possibile ottemperare alle prescrizioni dettate dal Decreto legislativo 29/12/06 n.311 e sue modifiche ed integrazioni, relativamente alla trasmittanza termica periodica e costante di tempo, sfasamento e attenuazione.

Ipotizzando una parete composta come in figura 3.51, si ottiene, come emerge dalla tabella 3.12, una trasmittanza pari a 0,21 W/m^{2}K, che rispetta i requisiti minimi richiesti dalla normativa per tutte le zone climatiche italiane. Inoltre, avendo una costante di tempo τ = 30.05 e una trasmittanza periodica pari a 0.073, inferiore a 0,12 W/m^{2}K, la parete soddisfa la prescrizione del D.L. n.311 del 29/12/06 e ss.

Con tali valori, lo sfasamento, pari a più di 11 ore, fa sì che la parete, secondo il metodo dei parametri qualitativi del DM 26/06/2009, *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*, presenti prestazioni "Buone e qualità prestazionale di II Livello".

Le prestazioni possono migliorare nel caso di parete costituita da doppio setto blockbau e doppio isolamento. Ad esempio in una parete realizzata come da figura 3.52 (pagina seguente) si ottengono risultati estremamente positivi con soli 32 cm di spessore.

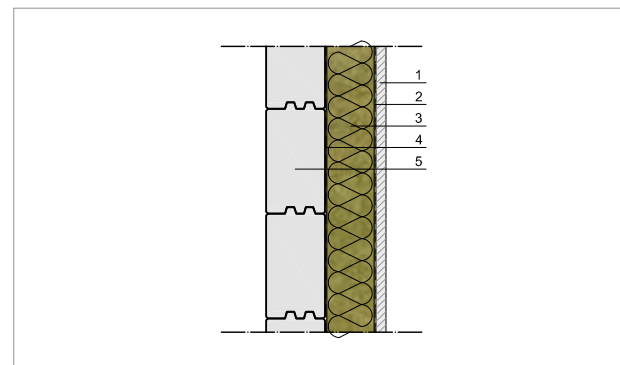



Figura 3.51 - Stratigrafia della parete:
1. perlinatura in legno
2. freno a vapore
3. isolamento termico-acustico in lana di roccia
4. telo traspirante
5. setto blockbau

Stratigrafia	Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m^3]	Massa superficiale Ms [kg/m^2]	Costante di tempo τ [h]
1 Perlinatura in legno	0.020	0.110	2088	400		
2 Freno a vapore	0.005	1.000	1000	300		
3 ROCKWOOL ACOUSTIC PLUS 225	0.100	0.033	1030	70	**68.43**	**43.31**
4 Telo antivento traspirante	0.005	0.180	1000	785		
5 Travi blockbau in legno massiccio	0.120	0.110	2500	400		

Trasmittanza U [W/m^{2}K]	**0.22**
Attenuazione f_d [-]	**0.219**
Sfasamento φ [h]	**11.03**
Trasmittanza termica periodica |Yie| [W/m^{2}K]	**0.049**

Tabella 3.12 - Valori caratteristici della parete di figura 3.51.

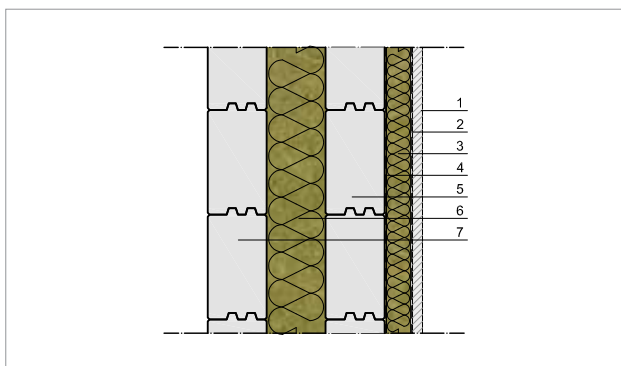



Figura 3.52 - Stratigrafia della parete:
1. *perlinatura in legno*
2. *barriera al vapore*
3. *pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS*
4. *telo trasporante*
5. *setto blockbau*
6. *pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS*
7. *setto blockbau*

Come si evince dalla tabella 3.13, la parete presenta un notevole miglioramento rispetto alla precedente ed è classificabile secondo il metodo dei parametri qualitativi del DM 26/06/2009 e ss m., con prestazioni "Ottime e qualità prestazionale di I Livello".

La configurazione della parete con setto portante e materiale isolante potrebbe indurre, a seconda delle condizioni ambientali, fenomeni di condensa interstiziale nei mesi invernali, perché il setto in legno, esposto esternamente, rimane "freddo". Per ovviare all'inconveniente sarà necessario porre un freno a vapore sul lato caldo dell'isolante, proprio al di sotto del rivestimento interno.

Nei grafici di Glaser seguenti si vede come, nel caso di parete blockbau singola con coibentazione interna (Figura 3.51), la linea delle pressioni relative incroci quella delle pressioni di saturazione (Figura 3.53), indicatore dell'insorgere del fenomeno di condensa interstiziale. Il problema viene facilmente risolto con l'interposizione di un freno a vapore sul lato caldo dell'isolante (elemento 2, figura 3.54).

Le stesse problematiche si ripetono nel caso di parete blockbau doppia (Figura 3.55), dove con l'interposizione di un freno a vapore non avviene più formazione di condensa interstiziale (Figura 3.56).

Stratigrafia	Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m³]	Massa superficiale Ms [kg/m²]	Costante di tempo τ [h]
1 Perlinatura in legno	0.020	0.110	2088	400		
2 Barriera al vapore	0.002	1.000	1000	300		
3 ROCKWOOL ACOUSTIC PLUS 225	0.050	0.033	1030	70		
4 Telo antivento traspirante	0.005	1.000	1000	300	**84.06**	**38.58**
5 Travi blockbau in legno massiccio	0.080	0.110	2500	400		
6 ROCKWOOL ACOUSTIC PLUS 225	0.080	0.033	1030	70		
7 Travi blockbau in legno massiccio	0.080	0.110	2500	400		

Trasmittanza U [W/m²K]	**0.17**
Attenuazione f_d [-]	**0.056**
Sfasamento φ [h]	**15.71**
Trasmittanza termica periodica |Yie| [W/m²K]	**0.010**

Tabella 3.13: Valori caratteristici della parete di figura 3.52.

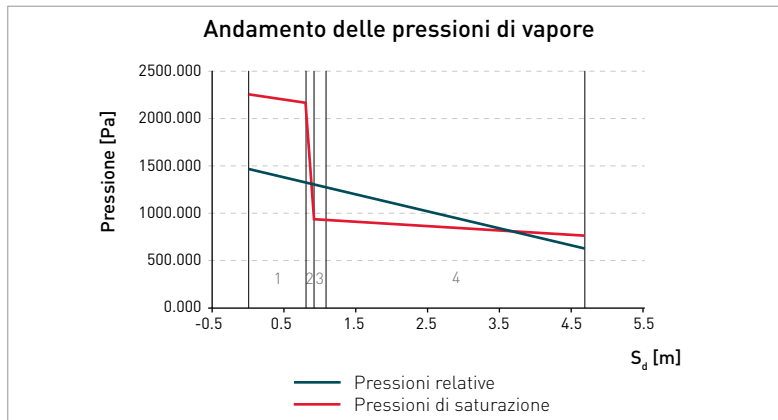



Figura 3.53 - Diagramma di Glaser per la parete di figura 3.51:
1. perlinatura in legno
2. pannello coibente interno in lana di roccia
3. telo antivento traspirante
4. travi blockbau in legno massiccio.

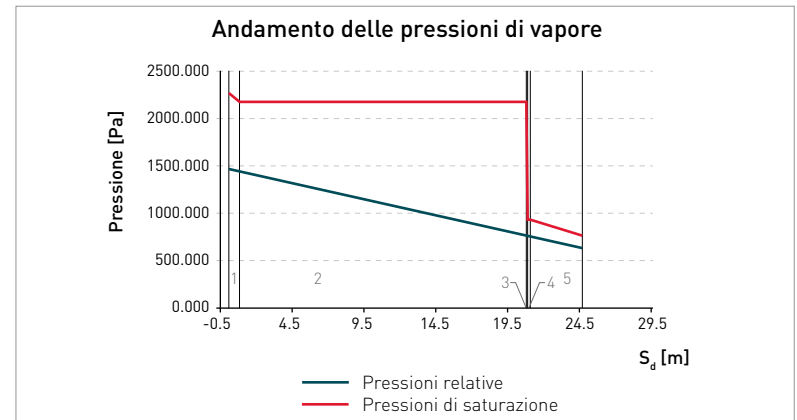



Figura 3.54 - Diagramma di Glaser per la parete di figura 3.51 con aggiunta di freno vapore:
1. perlinatura in legno
2. freno a vapore (S_d=18m)
3. pannello coibente interno in lana di roccia
4. telo antivento traspirante
5. travi blockbau in legno massiccio.

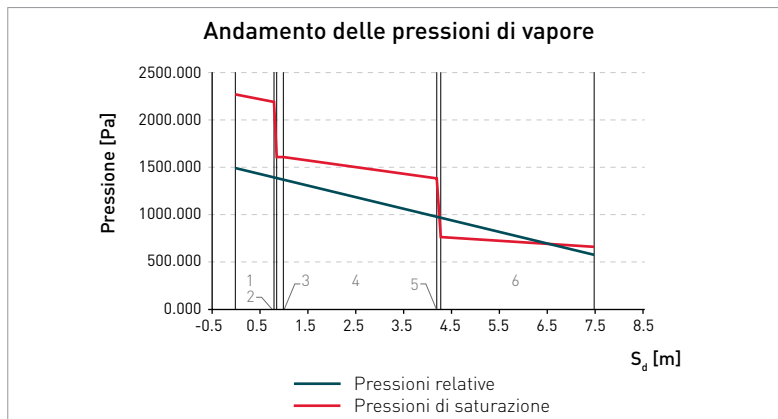



Figura 3.55 - Diagramma di Glaser per la parete di figura 3.52:
1. perlinatura in legno
2. pannello coibente interno in lana di roccia
3. telo antivento traspirante
4. travi blockbau in legno massiccio
5. isolamento in intercapedine
6. travi blockbau in legno massiccio.

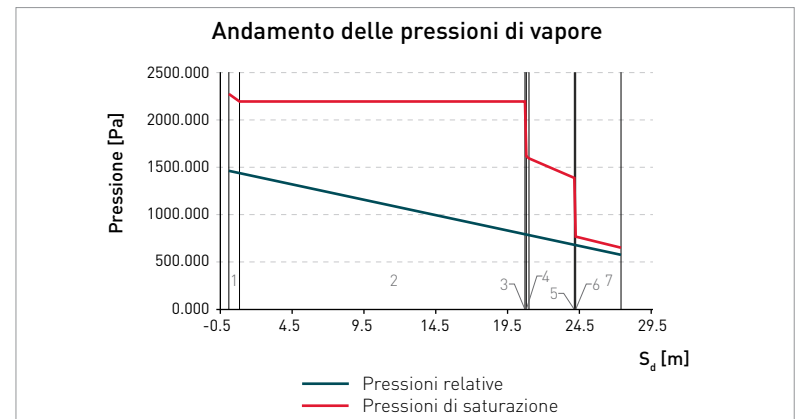



Figura 3.56 - Diagramma di Glaser per la parete di figura 3.52 con aggiunta del freno vapore:
1. perlinatura in legno
2. freno a vapore (S_d = 18m)
3. pannello coibente interno in lana di roccia
4. telo antivento traspirante
5. travi blockbau in legno massiccio
6. isolamento in intercapedine
7. travi blockbau in legno massiccio.

I diagrammi sono disegnati in scala con i valori di S_d. I numeri si riferiscono a quelli delle rispettive stratigrafie.

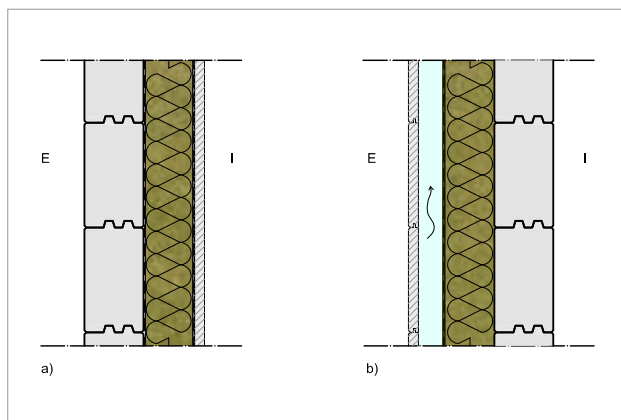



Figura 3.57 - Setto blockbau con isolamento termico e rivestimento esterno.

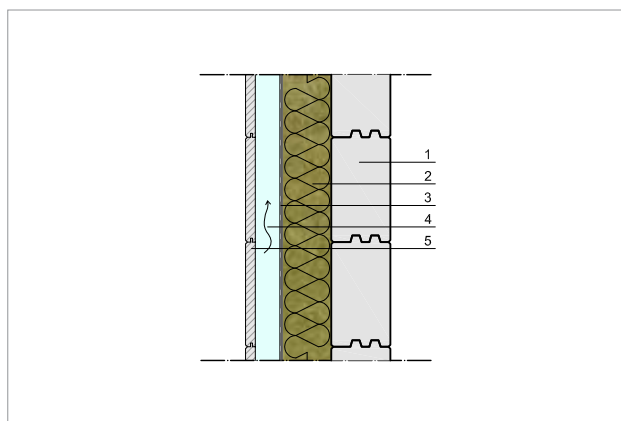



Figura 3.58 - Stratigrafia della parete:
1. *setto blockbau*
2. *isolamento a cappotto esterno in lana di roccia*
3. *strato di ventilazione*
4. *telo antivento traspirante*
5. *rivestimento esterno in perlinato di legno.*

Soluzione alternativa potrebbe essere l'applicazione di un isolamento a cappotto, che però comprometterebbe la grana superficiale della parete. Per mantenere le caratteristiche architettoniche della trama del sistema costruttivo, è possibile ricorrere a rivestimenti esterni che richiamerebbero la trama originaria (Figura 3.57 b).

Lasciando da parte le considerazioni filologiche circa la decorazione a rappresentazione della struttura, la soluzione così presentata può coniugare efficacemente le necessità di carattere formale con le richieste di prestazioni termo-igrometriche adeguate come da tabella 3.14 e da Figura 3.59.

Stratigrafia	Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m³]	Massa superficiale Ms [kg/m²]	Costante di tempo τ [h]
1 Setto blockbau	0.120	0.110	2500	400	66.99	42.96
2 ROCKWOOL VENTIROCK DUO	0.100	0.035	1030	70		
3 Intercapedine d'aria	0.040	0.025	1008	1		
4 Telo antivento traspirante	0.005	0.180	1000	785		
5 Rivestimento a perlinatura	0.020	0.110	2088	400		

Trasmittanza U [W/m²K]	**0.22**
Attenuazione f_d [-]	**0.202**
Sfasamento φ [h]	**11.17**
Trasmittanza termica periodica |Yie| [W/m²K]	**0.045**

Tabella 3.14: Valori caratteristici della parete di figura 3.58.

La risoluzione delle problematiche connesse alla tenuta all'aria, al vento e all'acqua è di fondamentale importanza per un setto blockbau, per la presenza di elementi strutturali discontinui e per le numerose correlazioni che la tecnica costruttiva impone (Figura 3.60).

Eventuali infiltrazioni potrebbero causare perdite di calore e abbassamenti della temperatura superficiale delle zone limitrofe al punto d'infiltrazione d'aria, originando le condizioni per la formazione di condensa, superficiale o interstiziale, che a lungo andare possono determinare rischi per l'integrità della struttura e la formazione di muffe. L'infiltrazione di acqua potrebbe poi essere esaltata dal ristagno dell'acqua stessa in prossimità dei giunti data la loro orizzontalità.

Negli edifici del passato le problematiche dell'ermeticità venivano risolte posizionando licheni, muschi e terra, fra un tronco e l'altro, con funzione sigillante. Oggi la soluzione consiste nell'interposizione di strisce di materiale elastico o feltro fra gli elementi costruttivi maschiati orizzontali (Figura 3.60). A garanzia della perfetta tenuta all'aria è consigliabile l'introduzione di teli di tenuta all'aria, posti sul lato caldo del setto portante, opportunamente nastrati o saldati sui sormonti, mentre l'ermeticità in corrispondenza delle linee di contatto degli elementi costruttivi può essere garantita tramite apposite guarnizioni (nastri in butile) e soglie in materiale isolante (guaine in EPDM) con taglio termico.

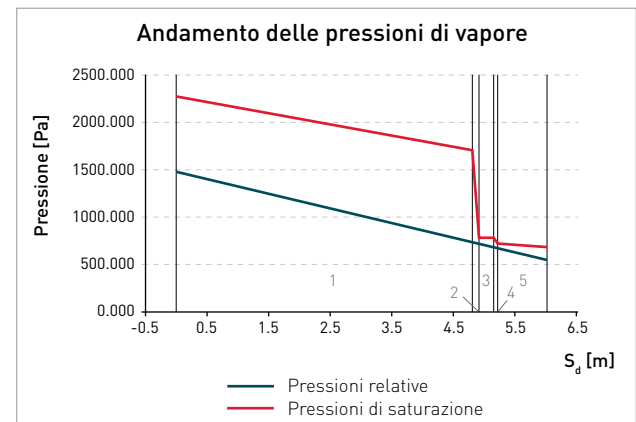



Figura 3.59 - Diagramma di Glaser della parete di figura 3.58.
I diagrammi sono disegnati in scala con i valori di S_d.
I numeri si riferiscono a quelli delle rispettive stratigrafie.

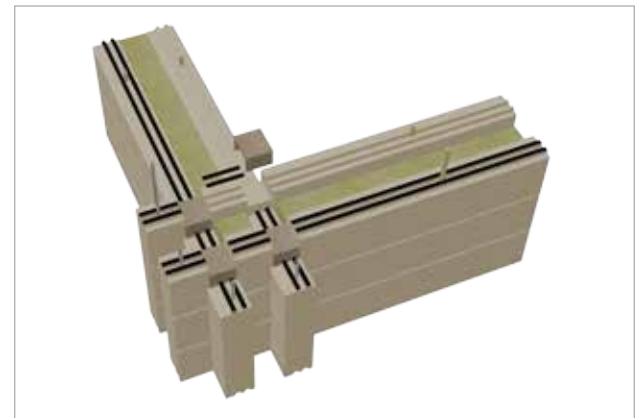
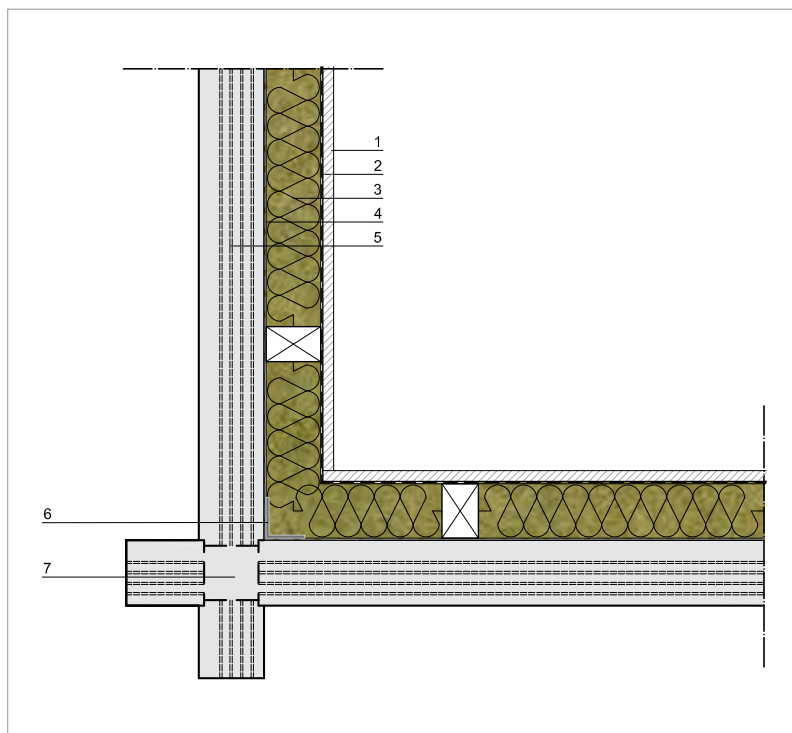



Figura 3.60 - Soluzioni per la tenuta all'aria e all'acqua.

3.3.4 Schede tecniche di progetto

LEGENDA

Parete esterna in blockbau

1. Controparete a orditura in legno con rivestimento perlinato sp. 20 mm
2. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
3. Pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 100 mm
4. Telo di tenuta al vento*
5. Parete blockbau a vista sp. 120 mm
6. Nastratura per tenuta all'aria
7. Giunzione degli elementi di tipo "standard"

** Altamente raccomandato per le costruzioni in legno, viste le peculiarità di questa tecnologia.*

PARETE ESTERNA IN BLOCKBAU

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	25	cm
Trasmittanza termica	0,22	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,22	-
Sfasamento	11,03	h
Trasmittanza termica periodica	0,05	W/m²K
Massa superficiale	68,43	kg/m²
Costante di tempo	43,31	h

ANALISI TERMICA DELLA PARETE ESTERNA IN BLOCKBAU

Con una parete (vedi figura) realizzata con strato isolante interno in pannelli ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp.100 mm (3) e setto blockbau esterno sp.120 mm (5), si raggiunge, con uno spessore di 25 cm un valore di trasmittanza termica pari a 0,22 W/m²K, che resta comunque inferiore al valore limite definito dal D.P.R. 59/2009, per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,26 W/m²K. La stessa stratigrafia presenta una costante di tempo pari a 43 ore che porta lo sfasamento a raggiungere le 11 ore. La parete risulta ugualmente efficiente, soprattutto in regime estivo.

ANALISI IGROMETRICA

Una delle problematiche rilevanti nelle costruzioni blockbau è dovuta alla configurazione della parete con setto portante e materiale isolante interno che potrebbe indurre, a seconda delle condizioni ambientali, fenomeni di condensa interstiziale nei mesi invernali, perché il setto in legno, esposto esternamente, rimane "freddo". Il problema viene facilmente risolto con l'interposizione di un freno a vapore sul lato caldo dell'isolante (2).

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

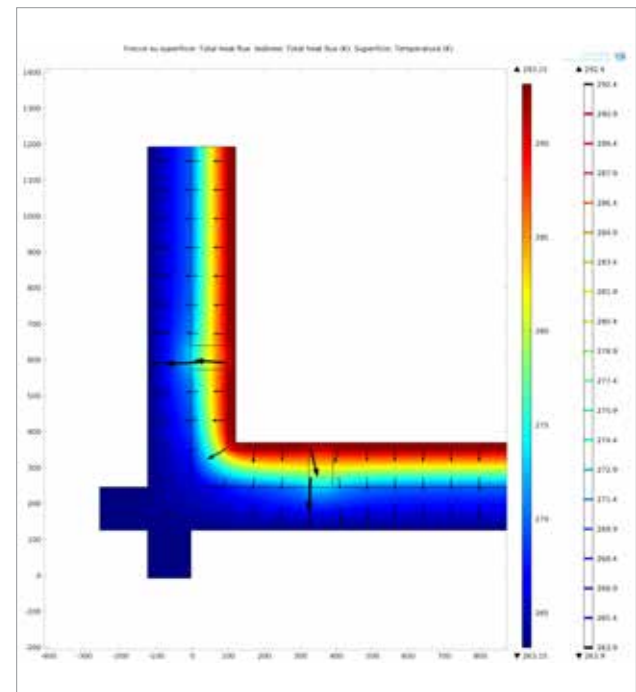
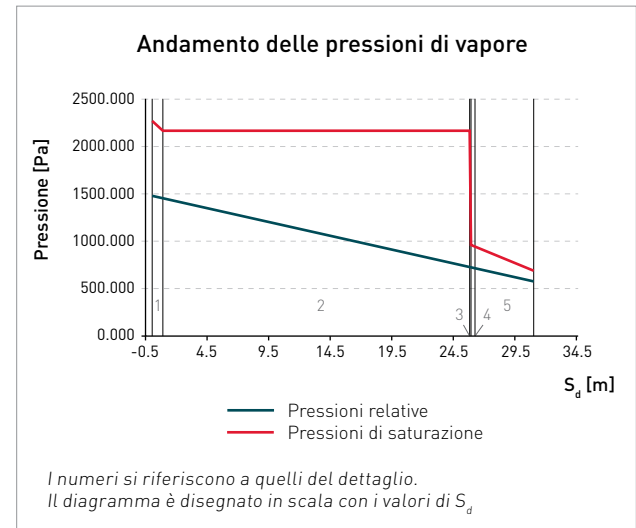
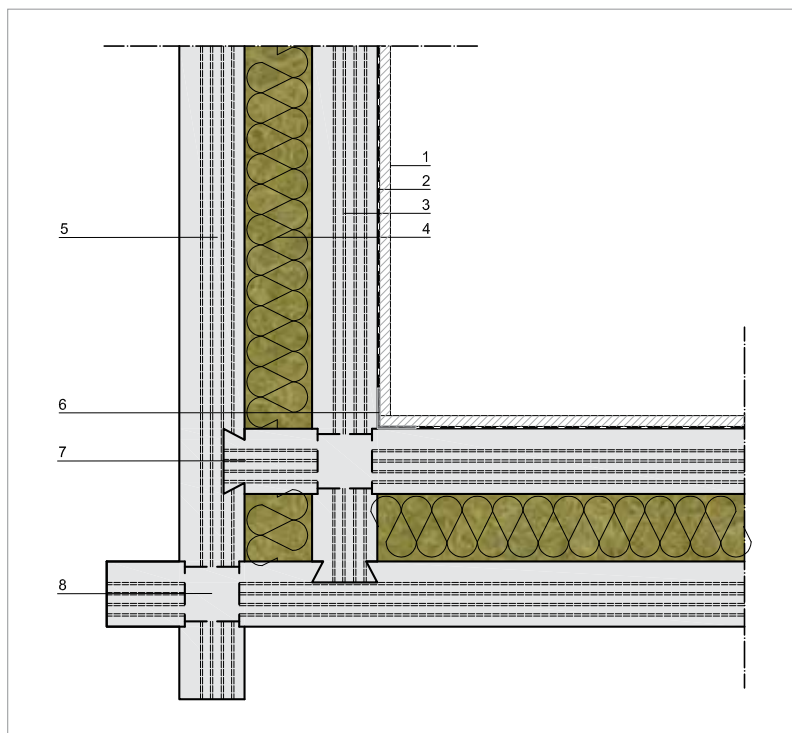
Nel grafico dell'andamento del flusso termico riportato a fianco si evidenzia come, nonostante il setto blockbau esposto rimanga sempre freddo, l'isolamento interno garantisca una superficie continua che racchiuda il volume riscaldato ed eviti le perdite di calore.

SPUNTI PROGETTUALI

Una delle soluzioni costruttive più ricorrenti per realizzare l'involucro degli edifici blockbau consiste nel porre l'isolante sul lato interno delle pareti e rivestirlo con perlinatura in legno (1) o cartongesso. La collocazione dell'isolamento termico sul lato caldo del setto blockbau risulta maggiormente sfavorevole rispetto a una coibentazione esterna a cappotto dal punto di vista delle prestazioni termiche. Essa mantiene tuttavia i caratteri distintivi del sistema e la trama esterna determinata dagli elementi orizzontali.

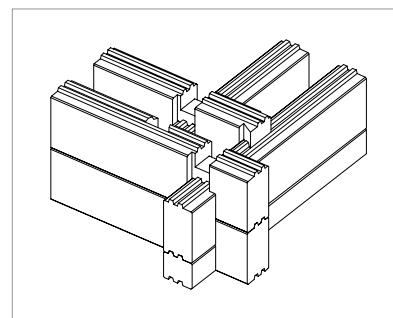
La correlazione fra due pareti ortogonali deve garantire una buona compartecipazione delle pareti. Nel caso raffigurato la giunzione è di tipo standard o a croce (7) con le teste degli elementi che risultano a vista all'esterno dell'edificio.

La tenuta all'aria è realizzata tramite l'interposizione di un telo di tenuta al vento sul lato interno del setto (4) ovvero tramite nastri adesivi fissati manualmente tra i giunti longitudinali degli elementi orizzontali e fra i giunti setto-setto (6).

L'isolamento interno è realizzato con pannelli rigidi ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS (3) ed è posto in opera con un'orditura in legno che fa da supporto anche al rivestimento interno.

LEGENDA

Parete esterna blockbau doppia

1. Rivestimento interno perlinato sp. 20 mm
2. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
3. Setto blockbau sp. 80 mm
4. Pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 80 mm
5. Setto blockbau sp. 80 mm
6. Nastratura per tenuta all'aria
7. Giunzione della parete interna "a coda di rondine"
8. Giunzione degli elementi di tipo "standard"

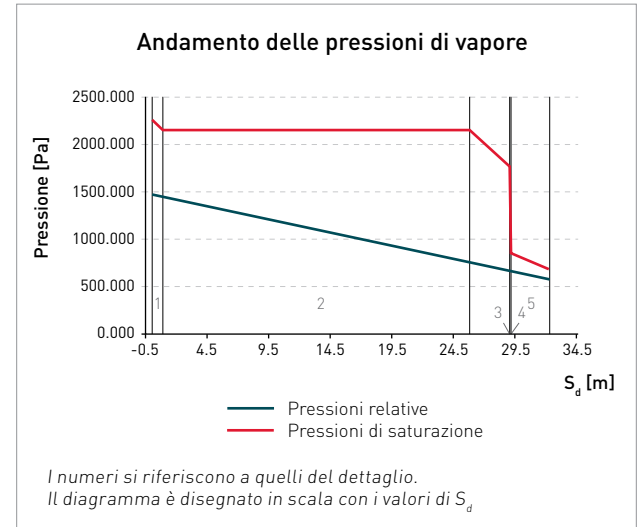
** Altamente raccomandato per le costruzioni in legno, viste le peculiarità di questa tecnologia.*

PARETE ESTERNA DOPPIA IN BLOCKBAU

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	27	cm
Trasmittanza termica	0,24	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,15	-
Sfasamento	13,76	h
Trasmittanza termica periodica	0,04	W/m²K
Massa superficiale	79,1	kg/m²
Costante di tempo	37,05	h

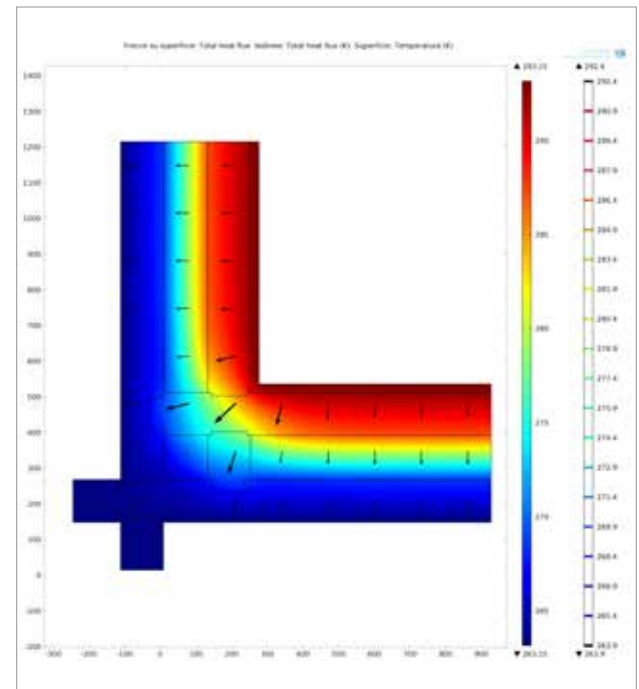
ANALISI TERMICA PARETE ESTERNA DOPPIA IN BLOCKBAU

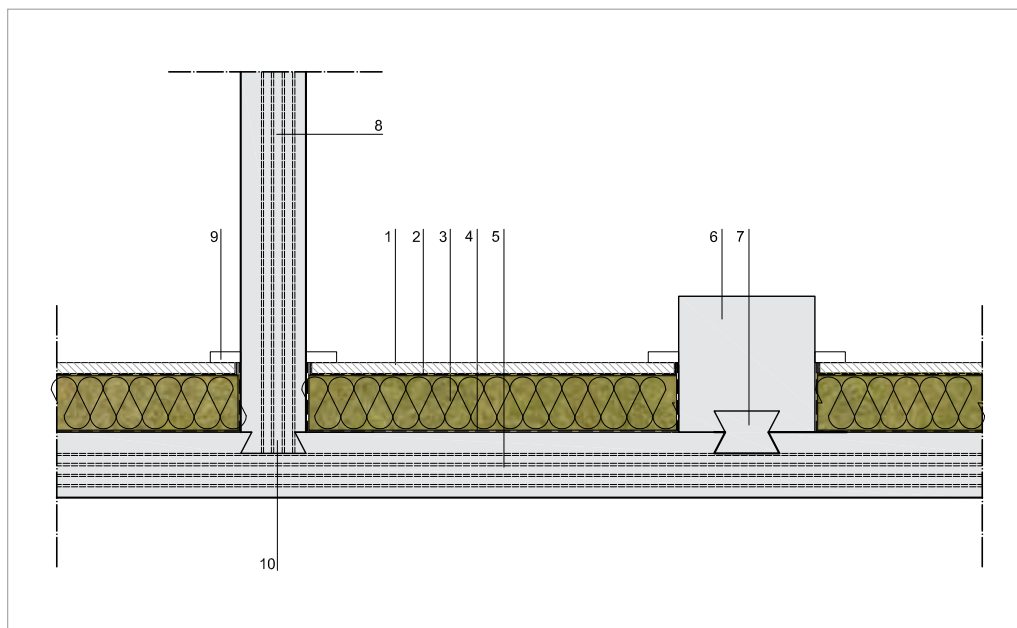
Con una parete (vedi figura) realizzata con strato isolante in pannelli ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp.80 mm (4) interposto in un doppio setto blockbau sp.80 mm (3, 5), si raggiunge, con uno spessore di 27 cm un valore di trasmittanza termica pari a 0,24 W/m²K, che resta comunque inferiore al valore limite definito dal D.P.R. 59/2009, per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,26 W/m²K. La stessa stratigrafia presenta una costante di tempo pari a 43 ore che porta lo sfasamento a raggiungere le 14 ore. La parete risulta molto efficiente, soprattutto in regime estivo.

ANALISI IGROMETRICA

Una delle problematiche rilevanti nelle costruzioni blockbau è dovuta alla configurazione della parete con il setto portante in legno esposto esternamente, che rimanendo "freddo" può indurre, a seconda delle condizioni ambientali, fenomeni di condensa interstiziale nei mesi invernali. Il problema viene facilmente risolto con l'interposizione di un freno a vapore sul lato caldo del setto portante interno (2).

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Nel grafico dell'andamento del flusso termico riportato a fianco si evidenzia come, nonostante il setto blockbau esterno esposto rimanga sempre freddo, l'isolamento in intercapedine e il setto interno racchiudono il volume riscaldato ed evitano le perdite di calore. Nel nodo a due vie ad angolo c'è un'accentuazione della dispersione termica per geometria ma l'andamento delle isoterme risulta abbastanza omogeneo.

SPUNTI PROGETTUALI

Una delle soluzioni costruttive per realizzare l'involucro degli edifici blockbau consiste nella realizzazione di un doppio setto (3, 5) con interposto del materiale isolante in lana di roccia con funzione di coibentazione termica ed abbattimento acustico (4). Tale soluzione mantiene i caratteri distintivi del sistema in termini di trama esterna/interna determinata dagli elementi orizzontali, incrementando però le prestazioni termiche, soprattutto in regime estivo.

LEGENDA

Parete esterna in blockbau

1. Controparete a orditura in legno con rivestimento perlinato sp. 20 mm
2. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
3. Pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 100 mm
4. Telo di tenuta al vento*
5. Parete blockbau a vista sp. 120 mm
6. Pilastro in legno massiccio o lamellare
7. Cuneo di collegamento pilastro-parete esterna
8. Parete interna blockbau sp. 120 mm
9. Coprigiunto del rivestimento perlinato
10. Intaglio "a coda di rondine" dei setti blockbau

** Altamente raccomandato per le costruzioni in legno, viste le peculiarità di questa tecnologia.*

PARETE ESTERNA

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	25	cm
Trasmittanza termica	0,22	W/m^2K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,22	-
Sfasamento	11,03	h
Trasmittanza termica periodica	0,05	W/m^2K
Massa superficiale	68,43	kg/m^2
Costante di tempo	43,31	h

ANALISI TERMICA PARETE ESTERNA

Con una parete (vedi figura) realizzata con strato isolante interno in pannelli ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp.100 mm (3) e setto blockbau esterno sp.120 mm (5), si raggiunge, con uno spessore di 25 cm un valore di trasmittanza termica pari a 0,22 W/m^2K, che resta comunque inferiore al valore limite definito dal D.P.R. 59/2009, per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,26 W/m^2K. La stessa stratigrafia presenta una costante di tempo pari a 43 ore che porta lo sfasamento a raggiungere le 11 ore. La parete risulta ugualmente efficiente in regime estivo.

ANALISI IGROMETRICA

Una delle problematiche rilevanti nelle costruzioni blockbau è dovuta alla configurazione della parete con setto portante e materiale isolante interno che potrebbe indurre, a seconda delle condizioni ambientali, fenomeni di condensa interstiziale nei mesi invernali, perché il setto in legno, esposto esternamente, rimane "freddo". Il problema viene facilmente risolto con l'interposizione di un freno a vapore sul lato caldo dell'isolante (2).

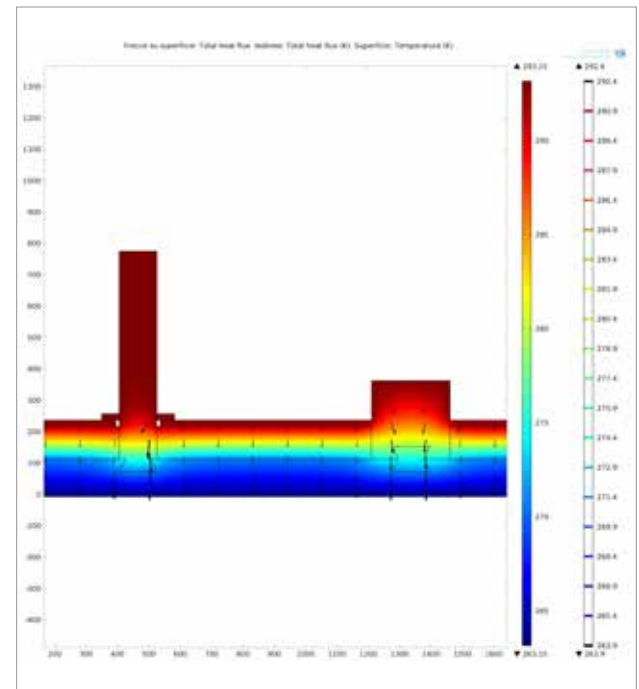
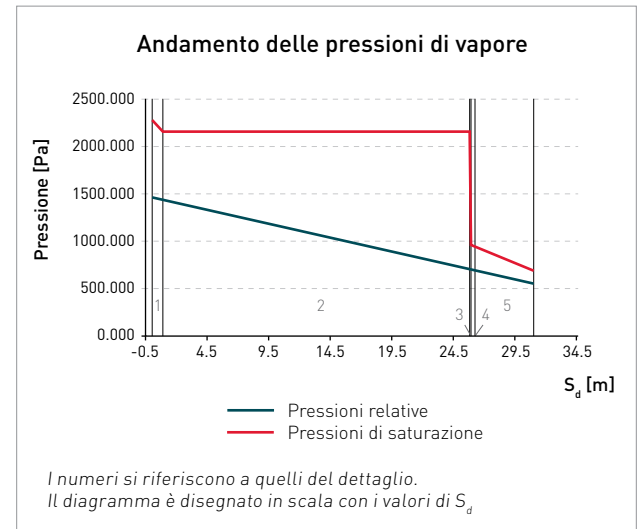
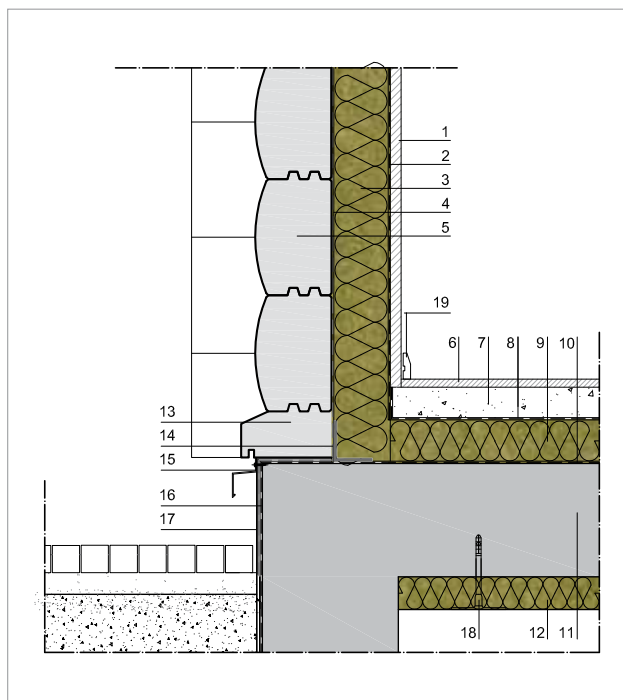
I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Nel grafico dell'andamento del flusso termico riportato a fianco si evidenzia come, nonostante il setto blockbau esposto rimanga sempre freddo, l'isolamento interno garantisca una superficie continua che racchiuda il volume riscaldato ed eviti le perdite di calore. Per limitare le uniche dispersioni puntuali, in corrispondenza della parete interna o del pilastro, si potrebbe procedere alla coibentazione interna anche di questi elementi, al fine di garantire una superficie continua che racchiuda il volume riscaldato ed eviti le perdite di calore.

SPUNTI PROGETTUALI

La correlazione tra pareti blockbau esterne e interne è realizzata mediante intaglio a coda di rondine (10), che non attraversa tutto lo spessore del setto, ma solo una porzione. In questo modo la parete esterna rimane continua e l'intersezione non si individua dall'esterno.

Talvolta, nel caso in cui la distanza tra pareti controventanti sia troppo elevata (maggiore di circa 4 m) è necessario introdurre altri elementi di ammorsamento, ad esempio pilastri (6) connessi all'interno alla parete per mezzo di cunei di legno con doppio intaglio a coda di rondine (7). In questo modo viene simulata la presenza di una parete interna ortogonale.

LEGENDA

Parete esterna in blockbau a vista

1. Controparete a orditura in legno con rivestimento perlinato sp. 20 mm
2. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
3. Pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 100 mm
4. Telo di tenuta al vento*
5. Parete blockbau a vista sp.120 mm

Solaio intermedio

6. Pavimento in legno duro sp. 15 mm
7. Massetto alleggerito per impianti sp.60 mm
8. Telo per il contenimento del getto del massetto
9. Pannello isolante ROCKWOOL STEPROCK HD sp.80 mm
10. Guaina bituminosa
11. Solaio
12. Pannello isolante ROCKWOOL CEILINGROCK sp.60 mm
13. Primo elemento di parete sagomato a gocciolatoio
14. Angolari metallici di giunzione dei pannelli e nastratura per la tenuta al vento
15. Gocciolatoio profilato in lamiera a protezione dello zoccolo
16. Impermeabilizzazione della zoccolatura
17. Strato protettivo dell'impermeabilizzazione della zoccolatura
18. Tassello per l'ancoraggio meccanico del pannello isolante
19. Battiscopa

** Altamente raccomandato per le costruzioni in legno, viste le peculiarità di questa tecnologia.*

SOLAIO INTERMEDIO

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	48	cm
Trasmittanza termica	0,55	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,01	-
Sfasamento	15,04	h
Trasmittanza termica periodica	0	W/m²K
Massa superficiale	731,31	kg/m²
Costante di tempo	26,46	h

ANALISI TERMICA SOLAIO INTERMEDIO

Il solaio del basamento accessibile di un edificio blockbau può esser realizzato con una soletta in c.a. coibentata con doppio strato isolante (vedi figura), superiormente con pannelli ROCKWOOL STEPROCK HD di spessore 80 mm (9) ed inferiormente con pannelli ROCKWOOL CEILINGROCK sp. 60mm (12). Con tale configurazione si raggiunge, con uno spessore di 48 cm, un valore di trasmittanza termica pari a 0,22 W/m²K, di molto inferiore al valore limite definito dal D.P.R. 59/2009, per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,32 W/m²K.

La stessa stratigrafia presenta una costante di tempo pari a 26 ore che porta lo sfasamento a superare le 15 ore. Questo dato ha in realtà scarso valore dal momento che il solaio non riceve irraggiamento diretto.

ANALISI IGROMETRICA

La realizzazione del solaio è piuttosto facile dal punto di vista igrometrico, in quanto, sia che esso sia posto contro terra o, come nel caso rappresentato, sopra un locale seminterrato, la temperatura del lato inferiore non è così rigida come quella considerata per le pareti esterne. La verifica di Glaser non risulta quindi particolarmente severa e non vi è formazione di condensa interstiziale.

Il valore di S_d è influenzato dalla presenza della guaina bituminosa impermeabile (10), indispensabile per evitare fenomeni di umidità di risalita.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

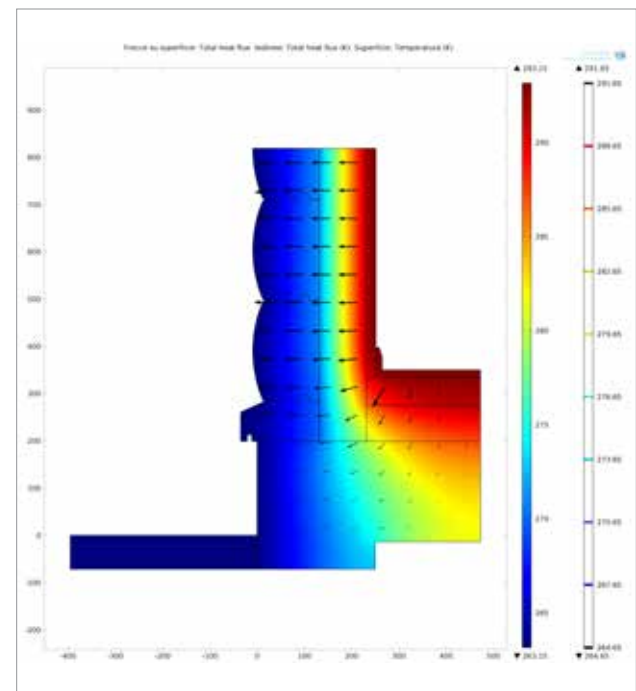
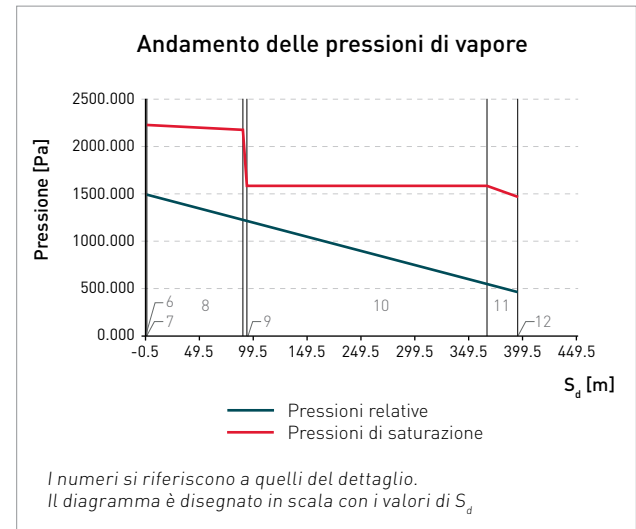
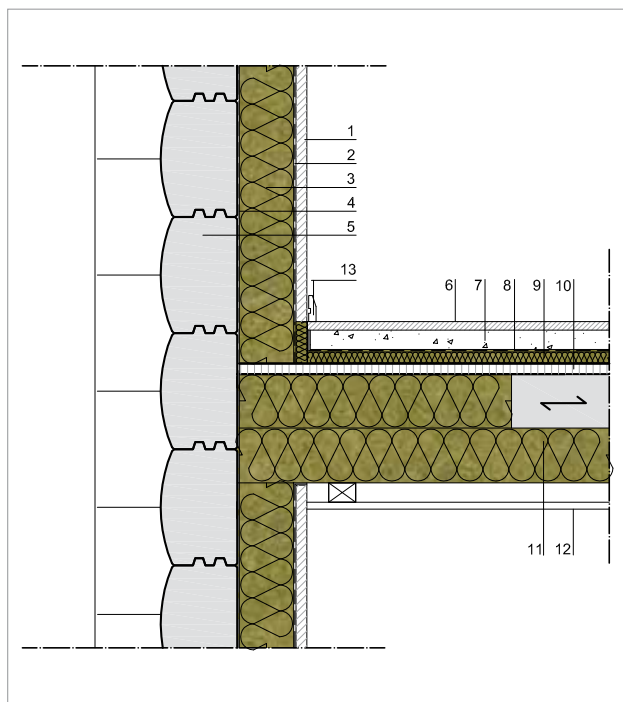
FLUSSO TERMICO DEL NODO

Come noto, il calcestruzzo è un materiale che non presenta capacità isolante ed è quindi necessario che l'ambiente abitato e riscaldato sia isolato da elementi disperdenti quali le fondazioni. Per risolvere il problema risulta importante sviluppare adeguatamente il dettaglio della giunzione tra esse e le pareti dell'edificio per limitare la dispersione di energia. La regola principale è riuscire a dare continuità agli elementi con buone caratteristiche di isolamento termico ed ottenere quindi idealmente una superficie continua che racchiuda il volume riscaldato. Minori sono le interruzioni di questa superficie, maggiore è il grado di isolamento delle fondazioni e maggiori sono le qualità prestazionali energetiche dell'edificio. La continuità del materiale isolante sul lato interno del setto blockbau e all'estradosso del solaio di base elimina completamente la formazione del ponte termico. Come si vede dal grafico di flusso termico, l'andamento della temperatura all'interno degli strati è omogeneo ed equilibrato in tutte le direzioni, non presentando particolari dispersioni.

SPUNTI PROGETTUALI

Nella correlazione di un edificio in blockbau con il terreno assume rilevanza la protezione dall'acqua di risalita e per colamento.

La giacitura orizzontale dei legni, in particolare di quelli a contatto con il sistema fondale, impone di predisporre una membrana impermeabile continua di separazione tra legno e calcestruzzo, inoltre per evitare il colamento delle acque meteoriche è opportuno prevedere un gocciolatoio al bordo del primo legno.

Altra problematica è la tenuta all'aria e al vento. In questo caso sarà necessario prevedere una nastratura continua per sigillare il giunto lineare legno-calcestruzzo che, essendo a secco, non garantisce la tenuta per le possibili asperità al bordo degli elementi a contatto.

LEGENDA

Parete esterna blockbau a vista

1. Controparete a orditura in legno con rivestimento perlinato sp. 20 mm
2. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
3. Pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 100 mm
4. Telo di tenuta al vento*
5. Parete blockbau a vista sp.120 mm

Solaio intermedio

6. Pavimento in legno duro sp. 15 mm
7. Sottofondo sp.40 mm
8. Telo per il contenimento del getto del massetto
9. Pannello ROCKWOOL STEPROCK LD per isolamento acustico anticalpestio sp.20mm
10. Pannello di chiusura a base legno sp.20 mm
11. Pannello ROCKWOOL 220 sp. 100 mm - Travetti di sostegno del solaio
12. Controsoffitto con rivestimento in lastra in cartongesso sp.12,5 mm
13. Battiscopa

** Altamente raccomandato per le costruzioni in legno, viste le peculiarità di questa tecnologia.*

SOLAIO INTERMEDIO

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	36	cm
Trasmittanza termica	0,23	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,31	-
Sfasamento	8,87	h
Trasmittanza termica periodica	0,07	W/m²K
Massa superficiale	129,82	kg/m²
Costante di tempo	6,88	h

ANALISI TERMICA SOLAIO INTERMEDIO

Assunto un solaio di 36 cm, quale potrebbe essere quello che risulta dal calcolo per le luci più ricorrenti, realizzato con una struttura intelaiata, coibentata in intercapedine con pannelli ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS (11), si raggiungono valori di trasmittanza termica decisamente contenuti, pari a circa 0,23 W/m²K. Il calcolo dello sfasamento e della costante di tempo ha valore solo indicativo dal momento che la componente si pone all'interno dell'involucro e non subisce quindi le sollecitazioni termiche esterne.

ANALISI IGROMETRICA

Per effettuare la verifica igrometrica della stratigrafia del solaio, si è ipotizzato che il locale sottostante non fosse riscaldato e si trovasse quindi ad una temperatura di 12°C. Facendo riferimento al grafico si evidenzia come la verifica di Glaser sia facilmente soddisfatta dal momento che la linea azzurra delle pressioni relative, date dalle condizioni climatiche reali, e la linea rossa delle pressioni di saturazione non s'intersecano in nessun punto interno alla parete. Questo è dovuto al fatto che non siamo in presenza di un ambiente effettivamente freddo e quindi le problematicità legate alla condensa sono trascurabili.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Nella correlazione parete-solaio-parete, possono insorgere eventuali criticità a causa del setto blockbau esposto che si mantiene sempre "freddo", soprattutto se non si ha materiale isolante sia sulla parete all'intradosso che su quella all'estradosso del solaio. Nel caso che una di queste superfici non sia isolata, nascono squilibri nei flussi termici che si concretizzano come ponte termico.

Nel dettaglio costruttivo in figura il ponte termico è stato risolto e attenuato grazie al posizionamento dell'isolamento interno (3) e nell'intercapedine della travatura del solaio. Per i primi 60 cm la coibentazione è per tutta l'altezza del vano, tramite la sovrapposizione di due pannelli isolanti (11); successivamente viene applicato un solo strato isolante. Il grafico del flusso termico dimostra l'efficacia della soluzione: le isoterme rimangono omogenee e parallele nello strato isolante, non subendo particolari distorsioni.

SPUNTI PROGETTUALI

I solai intermedi nel sistema blockbau sono realizzati con modalitá costruttive diverse: a panconi accostati o con un'orditura di travi con sovrastante impalcato di tavole o di pannelli a base legno. Le stratificazioni delle finiture estradossale e intradossale sono del tutto simili a quelle dei sistemi intelaiati alle quali si rimanda per approfondimenti.

Una caratteristica singolare nella realizzazione dei solai con travi e impalcato è quella di predisporre una fascia, di circa 60 cm di larghezza, realizzata con pannelli isolanti che corre tutto intorno al bordo del solaio in modo da evitare in maniera drastica il ponte termico che si potrebbe avere in corrispondenza del contatto con la parete. Il pacchetto di finitura estradossale del dettaglio a lato è completato con pannelli per l'isolamento acustico al di sopra del controsoffitto.

LEGENDA

Parete esterna in blockbau a vista

1. Controparete a orditura in legno con rivestimento perlinato sp. 20 mm
2. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
3. Pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 100 mm
4. Telo di tenuta al vento*
5. Parete blockbau a vista sp.120 mm

Solaio intermedio

6. Pavimento in legno duro sp. 15 mm
7. Sottofondo sp.40 mm
8. Telo per il contenimento del getto del massetto
9. Pannello ROCKWOOL STEPROCK LD per isolamento acustico anticalpestio sp.20mm
10. Massetto alleggerito per passaggio impianti sp.60 mm
11. Telo per il contenimento del getto del massetto
12. Pannello di chiusura a base legno sp.20 mm
13. Travi a vista
14. Battiscopa

** Altamente raccomandato per le costruzioni in legno, viste le peculiarità di questa tecnologia.*

SOLAIO INTERMEDIO

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	17	cm
Trasmittanza termica	0,86	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,3	-
Sfasamento	8,34	h
Trasmittanza termica periodica	0,26	W/m²K
Massa superficiale	236,95	kg/m²
Costante di tempo	4,25	h

ANALISI TERMICA SOLAIO INTERMEDIO

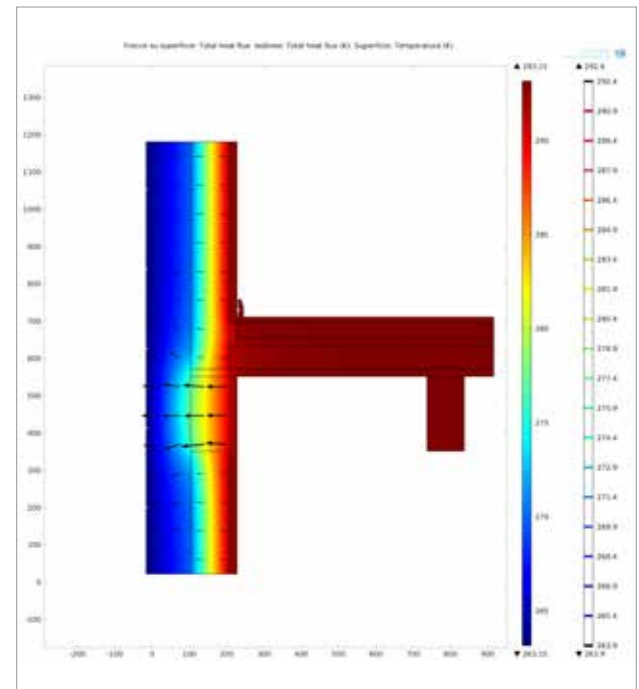
Un solaio intermedio realizzato con un tavolato in legno (12) poggiato su travetti a vista (13) può raggiungere valori di trasmittanza termica piuttosto elevati. Questa soluzione è consigliata quando il solaio è una componente interna e non ha funzione di separazione fra diverse unità abitative. Il calcolo dello sfasamento e della costante di tempo ha valore solo indicativo dal momento che la componente si pone all'interno dell'involucro e non subisce quindi le sollecitazioni termiche esterne.

ANALISI IGROMETRICA

Per effettuare la verifica igrometrica della stratigrafia del solaio, si è ipotizzato che il locale sottostante non fosse riscaldato e si trovasse quindi ad una temperatura di 12°C. Facendo riferimento al grafico si evidenzia come la verifica di Glaser sia facilmente soddisfatta dal momento che la linea azzurra delle pressioni relative, date dalle condizioni climatiche reali, e la linea rossa delle pressioni di saturazione non s'intersecano in nessun punto interno alla parete. Questo è dovuto al fatto che non siamo in presenza di un ambiente effettivamente freddo e quindi le problematicità legate alla condensa sono trascurabili.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Data la continuità del materiale isolante esterno, la correlazione parete esterna-solaio interno non presenta particolari criticità per quanto riguarda i fenomeni di dispersione termica e l'andamento delle isoterme si mantiene ovunque abbastanza uniforme, ad eccezione di una leggera distorsione in corrispondenza del travetto perimetrale che interrompe l'isolamento interno.

Nel caso in cui il solaio sia realizzato con un'orditura di elementi lineari con sovrapposto tavolato/pannelli di compensato/pannelli OSB, la correlazione in verticale tra i setti blockbau di parete avviene con scarpe metalliche o, preferibilmente, con intagli nei setti per l'alloggiamento dei travetti.

Anche se il solaio separa ambienti di una stessa unità abitativa sarà opportuno che non trasmetta rumori dovuti al calpestio. A tal fine una soluzione corretta e con tempi di realizzazione contenuti è l'introduzione di un pannello ROCKWOOL STEPROCK LD spessore 20 mm (9).

LEGENDA

Parete esterna in blockbau a vista

1. Controparete a orditura in legno con rivestimento perlinato sp. 20 mm
2. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
3. Pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 100 mm
4. Telo di tenuta al vento*
5. Parete blockbau a vista sp.120 mm

Solaio intermedio

6. Pavimento in legno duro sp. 15 mm
7. Sottofondo sp.40 mm
8. Telo per il contenimento del getto del massetto
9. Pannello ROCKWOOL STEPROCK LD per isolamento acustico anticalpestio sp.20mm
10. Massetto alleggerito per passaggio impianti sp.60 mm
11. Telo per il contenimento del getto del massetto
12. Pannello di chiusura a base legno sp.20 mm
13. Travi a vista
14. Elemento di parete sagomato a gocciolatoio
15. Guarnizioni e cuscinetti per la tenuta all'aria del serramento
16. Serramento in legno
17. Protezione metallica del serramento

** Altamente raccomandato per le costruzioni in legno, viste le peculiarità di questa tecnologia.*

PARETE ESTERNA

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	25	cm
Trasmittanza termica	0,22	W/m^2K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,22	-
Sfasamento	11,03	h
Trasmittanza termica periodica	0,05	W/m^2K
Massa superficiale	68,43	kg/m^2
Costante di tempo	43,31	h

ANALISI TERMICA PARETE ESTERNA

Con una parete (vedi figura) realizzata con strato isolante interno in pannelli ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp.100 mm (3) e setto blockbau esterno sp.120 mm (5), si raggiunge, con uno spessore di 25 cm un valore di trasmittanza termica pari a 0,22 W/m²K, che resta comunque inferiore al valore limite definito dal D.P.R. 59/2009, per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,26 W/m²K, nonostante la soluzione non ottimizzi le prestazioni termiche a scapito di quelle estetiche. La stessa stratigrafia presenta una costante di tempo pari a 43 ore che porta lo sfasamento a raggiungere le 11 ore. La parete risulta ugualmente efficiente, soprattutto in regime estivo.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

ANALISI IGROMETRICA

Una delle problematiche rilevanti nelle costruzioni blockbau è dovuta alla configurazione della parete con setto portante e materiale isolante interno che potrebbe indurre, a seconda delle condizioni ambientali, fenomeni di condensa interstiziale nei mesi invernali, perché il setto in legno, esposto esternamente, rimane "freddo". Il problema viene facilmente risolto con l'interposizione di un freno a vapore sul lato caldo dell'isolante (2).

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Anche nel sistema blockbau il nodo finestra-parete è uno dei punti più delicati per quanto riguarda il fenomeno dei ponti termici, poiché la finestra costituisce la parte più sottile dell'involucro e, composta per lo più da vetro, rappresenta sicuramente un elemento disperdente. Nella correlazione parete-solaio-parete, inoltre, possono insorgere eventuali criticità a causa del setto blockbau esposto che si mantiene sempre "freddo", soprattutto se non si ha materiale isolante sia sulla parete che all'intradosso e all'estradosso del solaio. Nel caso che una di queste superfici non sia isolata, nascono squilibri nei flussi termici che si concretizzano come ponte termico. Nel dettaglio costruttivo in figura il ponte termico è stato risolto e attenuato grazie al posizionamento dell'isolamento interno (3).

SPUNTI PROGETTUALI

L'inserimento del serramento in un edificio blockbau è in genere fatto nei vani finestra predisposti nel centro di taglio. La precisione nella realizzazione dei vani consente un facile montaggio. Come sempre in tutti i punti nodali è però necessaria una certa accortezza nella realizzazione del dettaglio per evitare ponti termici ed acustici. A tal fine è opportuno che la finitura al bordo del serramento si ben curata con l'introduzione di bande morbide con funzione anche acustica. Il setto blockbau sarà isolato termicamente sul lato interno con un pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp.100 mm (3).

LEGENDA

Parete esterna in blockbau a vista

1. Controparete a orditura in legno con rivestimento perlinato sp. 20 mm
2. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
3. Pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 100 mm
4. Telo di tenuta al vento*
5. Parete blockbau a vista sp.120 mm

Solaio intermedio

6. Pavimento in legno duro sp. 15 mm
7. Sottofondo sp.40 mm
8. Telo per il contenimento del getto del massetto
9. Pannello ROCKWOOL STEPROCK LD per isolamento acustico anticalpestio sp.20mm
10. Pannello di chiusura a base legno sp.20 mm
11. Pannello ROCKWOOL 220 sp. 100 mm I Travetti di sostegno del solaio
12. Controsoffitto con rivestimento in lastra in cartongesso sp. 12,5 mm
13. Elemento di soglia sagomato a gocciolatoio
14. Guarnizioni e cuscinetti per la tenuta all'aria del serramento
15. Serramento in legno
16. Protezione metallica del serramento

** Altamente raccomandato per le costruzioni in legno, viste le peculiarità di questa tecnologia.*

SOLAIO INTERMEDIO

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	36	cm
Trasmittanza termica	0,23	W/m^{2}K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,31	-
Sfasamento	8,87	h
Trasmittanza termica periodica	0,07	W/m^{2}K
Massa superficiale	129,82	kg/m^2
Costante di tempo	6,88	h

ANALISI TERMICA SOLAIO INTERMEDIO

Un solaio intermedio realizzato con una struttura intelaiata, coibentata in intercapedine con pannelli ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS (11), raggiunge valori di trasmittanza termica decisamente contenuti, pari a circa 0,23 W/m^{2}K. Questa soluzione è quindi consigliata quando

il solaio ha funzione di separazione fra diverse unità abitative. Il calcolo dello sfasamento e della costante di tempo ha valore solo indicativo dal momento che la componente si pone all'interno dell'involucro e non subisce quindi le sollecitazioni termiche esterne.

ANALISI IGROMETRICA

Per effettuare la verifica igrometrica della stratigrafia del solaio, si è ipotizzato che il locale sottostante non fosse riscaldato e si trovasse quindi ad una temperatura di 12 °C. Facendo riferimento al grafico si evidenzia come la verifica di Glaser sia facilmente soddisfatta dal momento che la linea azzurra delle pressioni relative, date dalle condizioni climatiche reali, e la linea rossa delle pressioni di saturazione non s'intersecano in nessun punto interno alla parete. Questo è dovuto al fatto che non siamo in presenza di un ambiente effettivamente freddo e quindi le problematicità legate alla condensa sono trascurabili.

FLUSSO TERMICO DEL NODO

Nella correlazione parete-solaio-parete, possono insorgere eventuali criticità a causa del setto blockbau esposto che si mantiene sempre "freddo", soprattutto se non si ha materiale isolante sia sulla parete che all'intradosso e all'estradosso del solaio. Nel caso che una di queste superfici non sia isolata, nascono squilibri nei flussi termici che si concretizzano come ponte termico.

Nel dettaglio costruttivo in figura il ponte termico è stato risolto e attenuato grazie al posizionamento dell'isolamento interno (3) e nell'intercapedine della travatura del solaio. Per i primi 60 cm la coibentazione è per tutta l'altezza del vano, tramite la sovrapposizione di due pannelli isolanti (11); successivamente viene applicato un solo strato isolante. Il grafico del flusso termico dimostra l'efficacia della soluzione: le isoterme rimangono omogenee e parallele nello strato isolante, non subendo particolari distorsioni.

SPUNTI PROGETTUALI

L'inserimento del serramento in un edificio blockbau è in genere fatto nei vani finestra predisposti nel centro di taglio. La precisione nella realizzazione dei vani consente un facile montaggio.

Come sempre in tutti i punti nodali è però necessaria una certa accortezza nella realizzazione del dettaglio per evitare ponti termici ed acustici. A tal fine è opportuno che la finitura al bordo del serramento sia ben curata con l'introduzione di bande morbide con funzione anche acustica.

Il setto blockbau sarà isolato termicamente sul lato interno con un pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 100 mm (3).

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

LEGENDA

Solaio di copertura

1. Tavolato sp.24 mm
2. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
3. Pannello ROCKWOOL DUROCK ENERGY sp.140 mm
4. Telo sottomanto impermeabile traspirante
5. Listellatura di supporto / intercapedine ventilata sp.40mm
6. Manto di copertura

Parete blockbau a vista

7. Controparete a orditura in legno con rivestimento perlinato sp. 20 mm
8. Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo del vapore
9. Pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS sp. 100 mm
10. Telo di tenuta al vento*
11. Parete blockbau a vista sp.120 mm
12. Tavola di chiusura rivestimento perlinato
13. Travetti di sostegno della copertura
14. Rete di protezione anti-insetti
15. Travetti passafuori
16. Gronda per il drenaggio delle acque meteoriche

** Altamente raccomandato per le costruzioni in legno, viste le peculiarità di questa tecnologia.*

COPERTURA INCLINATA

Dati tecnici	Valore	Unità di misura
Spessore totale	21	cm
Trasmittanza termica	0,22	W/m²K
Fattore di decremento (attenuazione)	0,68	-
Sfasamento	6,11	h
Trasmittanza termica periodica	0,15	W/m²K
Massa superficiale	40,95	kg/m²
Costante di tempo	24,43	h

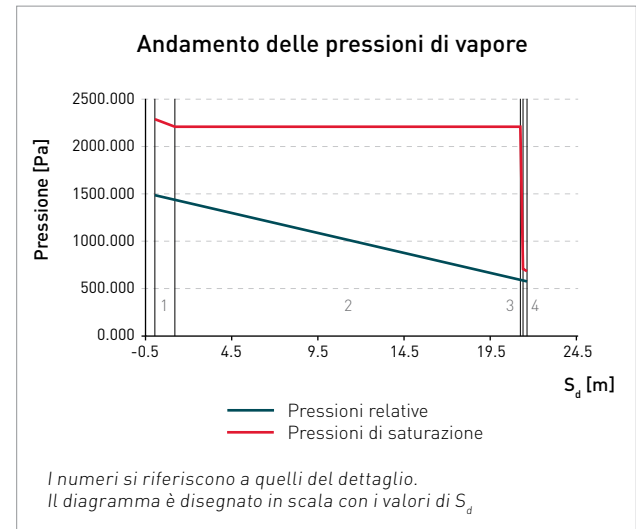
ANALISI TERMICA COPERTURA INCLINATA

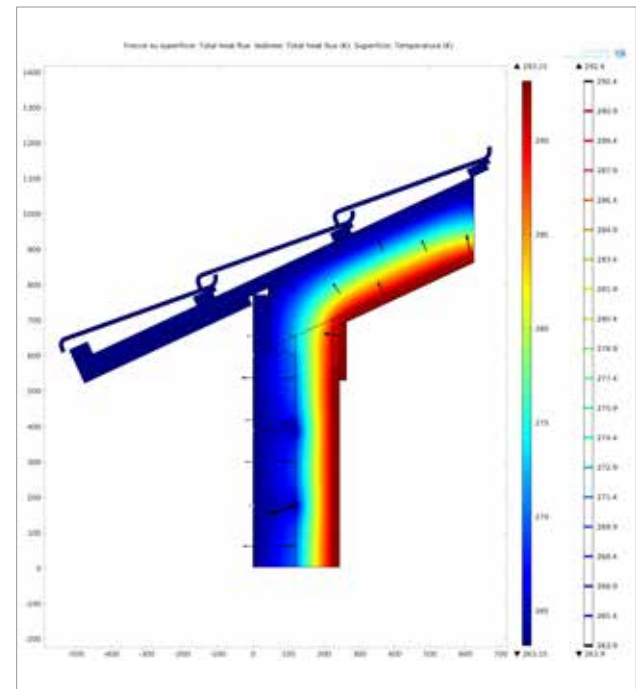
In una copertura inclinata realizzata con tavolato che poggia su travetti in legno a vista si raggiunge un valore di trasmittanza termica pari a 0,22 W/m²K, inferiore al valore limite definito dal D.P.R. 59/2009, per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,23 W/m²K. La copertura è coibentata esternamente con pannelli isolanti ROCKWOOL DUROCK ENERGY di spessore 140 mm (3).

La copertura ha una bassa massa superficiale, pari a circa 40 kg/m². Ciò comporta un valore di sfasamento piuttosto basso se confrontato a quello di altre stratigrafie più efficienti da questo punto di vista. Pertanto, se ne consiglia l'utilizzo in zone climatiche dove non risulta fondamentale un comportamento altamente prestazionale in regime estivo.

ANALISI IGROMETRICA

La verifica di Glaser condotta sulla copertura nel mese con condizioni più restrittive, collocando l'edificio in zona F, è facilmente soddisfatta con l'applicazione di un freno a vapore sul lato caldo dello strato isolante (2). Particolare cura va posta nella scelta della guaina impermeabile sottomanto (4), che deve essere altamente traspirante in modo da non impedire la traspirazione della stratigrafia e l'equilibrio igrometrico delle strutture.

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

FLUSSO TERMICO DEL NODO

La copertura inclinata è isolata esternamente con continuità con un pannello rigido ROCKWOOL DUROCK ENERGY (3) a doppia densità, posto sopra il tavolato (1), mentre la parete è coibentata internamente con il pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS (9). Il grafico di flusso termico conferma che tale soluzione garantisce un andamento omogeneo delle isoterme nel raccordo, senza presentare zone critiche.

SPUNTI PROGETTUALI

Spesso in un edificio blockbau il solaio di copertura è realizzato con travi in legno con sovrastante impalcato di tavole. Nel caso si voglia lasciare a vista l'orditura per motivi di ordine formale l'isolamento termico ed acustico viene posto tutto all'estradosso e realizzato con ROCKWOOL DUROCK ENERGY sp. 140 mm (3) che per le sue caratteristiche fisico meccaniche, tra le quali la più rilevante la doppia densità, consente la posa in opera della listellatura di supporto del manto direttamente sopra l'isolante e al contempo permette la formazione dell'intercapedine per la ventilazione sottomanto. Rilevante sarà la presenza di una retina para-insetti (14) per evitare, nell'intercapedine stessa, la presenza e la proliferazione di nidi di piccoli animali. Sarà opportuno proteggere l'isolante con un telo impermeabile traspirante (4) per prevenire le conseguenze di infiltrazioni d'acqua derivanti da guasti al manto di copertura.

3.4 SISTEMA A TRAVI E PILASTRI

3.4.1 Generalità

L'attuale sistema costruttivo a travi e pilastri deriva dai sistemi intelaiati del passato, quali il grind, il bay system e, in un certo qual modo, il fachwerk. In questi sistemi gli elementi lineari in legno massiccio, collegati con giunti a mezzo legno e perni, costituivano una gabbia strutturale che veniva tamponata per definire lo spazio costruito.

L'introduzione dei legni compositi (come il lamellare) e le giunzioni metalliche, hanno modificato la tecnica costruttiva, lasciando però invariato l'atto gestuale originario del costruire rappresentato dagli elementi funzionali caratteristici: travi, pilastri e controventi (Figura 3.61), realizzati oggi in legno massiccio, bilama, trilama o lamellare. In genere le travi sono a sezione piena con la base fra gli 8 e i 20 cm e hanno altezze variabili in funzione delle luci che devono coprire. Ai fini del dimensionamento della trave, assume rilevanza la freccia di inflessione, perché il coefficiente elastico del legno (E=11600 MPa) induce frecce notevoli sebbene la sicurezza statica sia assicurata. I pilastri sono generalmente a sezione quadrata per facilitare le correlazioni delle travi che, nella generalità dei casi, sono ad essi ortogonali (Figura 3.62). Non mancano varianti costruttive con elementi gemelli ottenuti raddoppiando quelli pieni.

Gli elementi di tamponatura delle maglie strutturali non assorbono di regola alcuna forza verticale, ma possono invece avere funzione di irrigidire e stabilizzare i telai portanti contro le forze orizzontali.

Il tamponamento delle maglie dello scheletro portante può avvenire con elementi piani disposti in luce oppure in battuta.

Le modalità realizzative sono funzione dei differenti gradi di prefabbricazione dell'elemento di tamponamento. Se quest'ultimo è realizzato in opera, assorbirà più cicli di lavorazione che, in successione, sono: posa in opera della lastra portante, del telaio di irrigidimento, del materiale isolante, delle finiture interne e delle finiture esterne.

Nel caso che il pannello di chiusura sia in luce, sarà possibile avere la continuità delle superfici interna ed esterna; questo facilita di molto la realizzazione di un'eventuale parete ventilata o di un cappotto esterno, nonché la realizzazione delle finiture interne. La posizione in luce è vantaggiosa in quanto il pannello può costituire elemento di controvento, anche se, in caso di azioni orizzontali nel piano sulla struttura, si possono indurre sollecitazioni puntuali non opportune che dovranno essere valutate attentamente in sede di progetto. Ulteriore problematica nelle costruzioni a travi e pilastri deriva dalla discontinuità tra il pilastro e il pacchetto di chiusura della parete, che potrebbe indurre ponti termici e infiltrazioni d'aria.

I pannelli in battuta vengono posti dall'esterno e hanno una maggior facilità di montaggio, ma implicano la necessità di predisporre opere provvisionali intorno all'edificio. Un sicuro vantaggio è che questi pannelli sono di norma preassemblati per cui riducono di molto

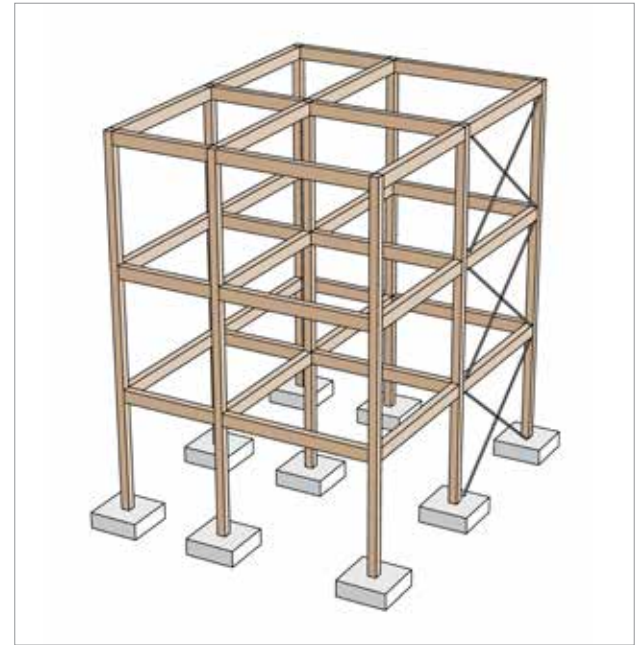



Figura 3.61 - Schematizzazione del sistema costruttivo.

Figura 3.62 - Orditura di travi e pilastri.

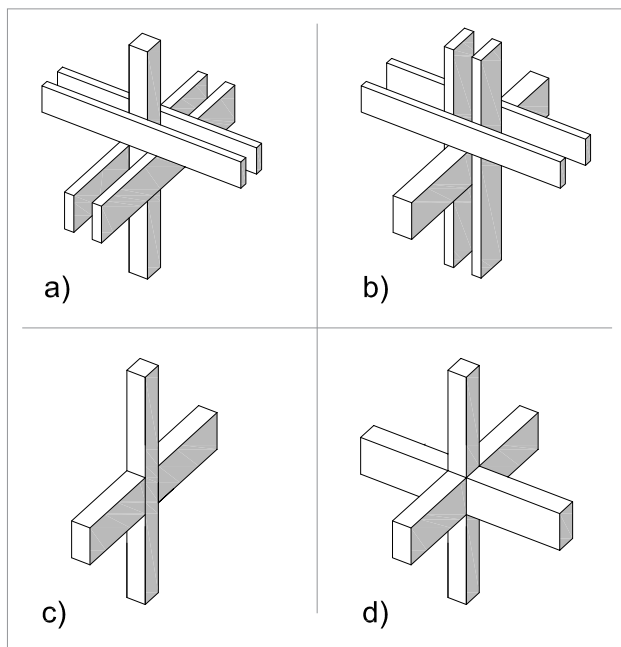



Figura 3.63 - Tipologie di connessione trave-pilastro.

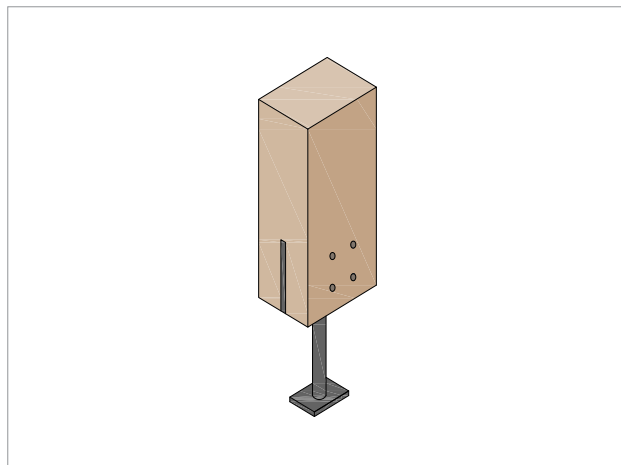



Figura 3.64 - Esempio di collegamenti pilastro-fondazione.

le operazioni in cantiere. Ulteriore facilitazione è quella di avere una superficie continua all'esterno; all'interno invece i pilastri costituiranno punti singolari di discontinuità, con possibili problematiche nella organizzazione spaziale interna.

3.4.2 Connessioni e montaggio

Le tipologie più ricorrenti trave-pilastro, sia con elementi pieni che gemelli (Figura 3.63), sono:

- Pilastro passante, trave passante (a, b)
- Pilastro passante, trave interrotta (c)
- Pilastro interrotto, trave passante (d)

La scelta è funzione, oltre che delle esigenze di natura statica, della facilità di correlazione degli altri componenti. Negli edifici bassi fino a 4 piani, è abbastanza comune posizionare la trave al di sopra del pilastro, per sfruttare la maggior capacità portante. Negli edifici di altezze maggiori è conveniente mantenere la continuità del pilastro verticale sul quale andranno a connettersi le travi, evitando così un eccessivo schiacciamento traversale (Figura 3.63).

Per il collegamento dei pilastri isolati alla fondazione si deve garantire il distanziamento dell'elemento ligneo dal piano di fondazione di circa 10-15 cm, al fine di evitare il contatto con l'acqua e migliorare così la durabilità. In questo caso, il collegamento del pilastro in legno avviene per il tramite di un elemento metallico (Figura 3.64) che realizza il giunto, garantendo il drenaggio e l'aerazione dell'estremità. Il collegamento lato legno è realizzato con connettori metallici di vario tipo (viti, chiodi, spinotti, bulloni) mentre lato cemento armato con tasselli o barre filettate completate da dado di serraggio.

La correlazione con la fondazione avviene per il tramite di una *trave radice*, ancorata al masso fondale, che assume così la funzione del quarto lato di chiusura del telaio del piano terra.

Le correlazioni trave-trave e trave-pilastro sono realizzate a mezzo legno o con elementi di giunto metallici, che possono essere scarpe o piastre a scomparsa (Figura 3.65). La solidarizzazione avviene per il tramite di chiodi, viti per legno o perni metallici.

Dal punto di vista statico l'ossatura portante in legno si differenzia da edifici di tipologia analoga realizzati in cemento armato o acciaio per il fatto che, contrariamente a questi ultimi, risulta molto difficile, praticamente impossibile, realizzare dei collegamenti rigidi che funzionino come veri e propri incastri fra i vari elementi strutturali. Da questo deriva la necessità di irrigidire la maglia strutturale sia orizzontalmente che verticalmente, al fine di rendere capace l'intero sistema di assorbire le azioni orizzontali, date dal vento o dal sisma. Il controventamento di parete è ottenuto con diagonali in legno, tiranti metallici (Figura 3.66) ovvero dagli stessi pannelli di tamponamento. I controventi sul piano orizzontale sono realizzati con bande metalliche forate disposte sui solai intermedi e di copertura realizzati a loro volta con un'orditura di travi, tavolati e fogli di compensato di irrigidimento. Talvolta sopra l'impalcato viene realizzata una soletta di calcestruzzo alleggerito di 5 cm che, oltre ad avere la funzione di irrigidire ulteriormente il solaio, svolge anche la funzione di migliorare l'isolamento acustico, aumentando la massa del solaio, e di consentire il posizionamento degli impianti. Quando le luci sono piuttosto elevate, i solai possono essere a doppia e/o tripla orditura.

Figura 3.65 - Collegamento trave-trave e trave-pilastro con piastre a scomparsa.

I particolari costruttivi dei nodi in questo sistema sono fondamentali, soprattutto riguardo al problema della resistenza al fuoco. Generalmente viene indicato come nodo il "punto" in cui convergono almeno due aste. Esso ha il compito di collegare le aste (pilastri e/o travi) l'una con l'altra permettendo la trasmissione delle forze. Anche se il requisito di resistenza al fuoco non è richiesto per edifici residenziali di altezza inferiore ai 12 m [17], in ogni caso è buona pratica costruttiva proteggere tutti gli elementi di collegamento fra i vari elementi strutturali, comprese le piastre, le squadrette e le scarpe d'acciaio dall'azione diretta del fuoco. A tale scopo una buona pratica è la realizzazione di unioni che prevedono l'inserimento delle piastre metalliche a scomparsa, all'interno degli elementi di legno, in fresature appositamente realizzate. Comunque è opportuno che la protezione delle unioni e delle teste dei connettori sia eseguita con fogli di compensato o con tappi di legno in modo che queste non rimangano a vista.

Occorre, inoltre, proteggere tutte le unioni dalla possibilità di ristagno d'acqua, soprattutto nel caso del collegamento dei pilastri alle fondazioni; a tale scopo è bene, se possibile, evitare l'utilizzo di scatole o cuffie di metallo che racchiudano il piede dell'elemento costruttivo al loro interno, mentre sono da preferire dispositivi di unione che prevedano l'inserimento di piastre in apposite fresature realizzate nel piede del pilastro. Comunque, nel caso in cui non si voglia fare a meno dell'utilizzo di scatole chiuse, risulta necessario prevedere dei fori nella base della scatola in modo tale da permettere all'acqua eventualmente penetrata di fuoriuscire.

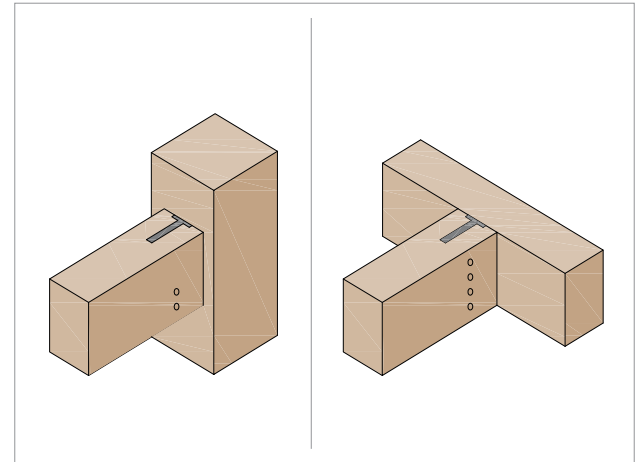



Figura 3.66 - Controventi di parete con elementi metallici a) a vista b) all'interno del pannello

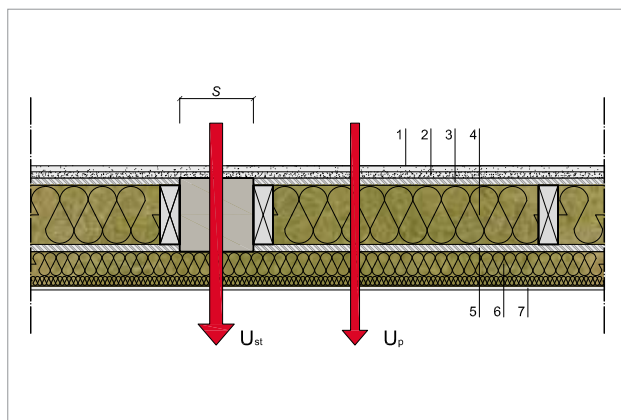



Figura 3.67 - Sezioni significative della parete ai fini del calcolo termico.
Stratigrafia:
1. *lastra in cartongesso*
2. *lastra in gessofibra*
3. *pannello OSB*
4. *pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS*
5. *pannello OSB*
6. *pannello ROCKWOOL FRONTROCK MAX E*
7. *intonaco di calce.*

3.4.3 Caratteristiche costruttive del sistema ai fini del comfort termo-igrometrico

Per quanto riguarda l'isolamento termico/acustico le soluzioni costruttive del sistema a scheletro portante sono analoghe a quelle del sistema a pannelli intelaiati. In particolare, nel caso che i pannelli di chiusura siano in battuta, è evidente che l'involucro risulterà realizzato da una sequenza di pannelli intelaiati. Nel caso che i pannelli invece siano in luce, l'unica differenza è rappresentata dalla presenza dei pilastri tra un pannello e l'altro, il che induce una doppia discontinuità in corrispondenza dell'ipotetico giunto pannello-pannello. Le soluzioni costruttive di dettaglio sono però molto simili, pressoché identiche. È importante che si abbia l'accortezza di risolvere in maniera costruttivamente corretta i punti nodali in cui si possono determinare ponti termici. Il rivestimento a cappotto, realizzato ad esempio con pannelli in lana di roccia, risolve in maniera coerente tutte le problematiche dei punti di discontinuità.

Per calcolare i parametri termici di una parete, ad esempio la trasmittanza, va considerata la presenza dei pilastri strutturali all'interno della parete. A tal fine è necessario analizzare sezioni differenti del pacchetto costruttivo, ovvero effettuare un calcolo della disomogeneità, mettendolo in relazione percentuale alla struttura prevalente e calcolando il valore pesato dell'intera struttura, con una procedura analoga a quella descritta per il sistema a pannelli intelaiati.

In pratica si costruiscono due sezioni significative (Figura 3.67), una passante per il pilastro in legno e una passante per il pannello di tamponamento, di cui si calcolano i parametri termici, rispettivamente, X_{st} e X_p, dove quest'ultimo consiste nel valore già pesato, tenendo conto della presenza dei montanti di irrigidimento del pannello. Si determina quindi l'incidenza della superficie dei pilastri sulla superficie unitaria di parete, in particolare:

$$I_{st} = (\frac{1}{I} \cdot S) \cdot 1m^2$$

$$I_p = (1 - \frac{S}{I}) \cdot 1m^2$$

dove S è la larghezza dei pilastri ed I il loro interasse.

Il valore del parametro pesato tra le sezioni della parete si ottiene tramite la relazione

$$X_t = X_p \cdot I_p + X_{st} \cdot I_{st}$$

Per la parete composta come illustrato in figura 3.67, il valore di trasmittanza della sezione passante per il pilastro è pari a U_{st} =0,28 W/m²K, mentre quello della sezione passante per il pannello risulta essere U_p = 0,17 W/m²K.

Calcolando ora la trasmittanza totale della parete, con pilastri di larghezza S = 0,15 m posti ad un interasse pari a I = 2 m, si ottiene il valore

$$U_g = 0{,}17 \cdot 0{,}925 + 0{,}28 \cdot 0{,}075 = 0{,}18\ W/m^2K$$

Stratigrafia	Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m^3]	Massa superficiale Ms [kg/m^2]	Costante di tempo τ [h]
1 Cartongesso	0.013	0.210	1050	900		
2 Gessofibra	0.013	0.360	1000	1180		
3 Pannello OSB	0.015	0.130	1700	680		
4 ROCKWOOL ACOUSTIC PLUS 225	0.120	0.033	1030	70		
Montante di irrigidimento (I=6,7%)	*0.120*	*0.110*	*2500*	*400*	**96.24**	**15.81**
5 Pannello OSB	0.015	0.130	1700	680		
6 ROCKWOOL FRONTROCK MAX E	0.070	0.036	1030	90		
7 Intonaco di calce e cemento	0.020	1.000	1130	1800		

Trasmittanza U_p [W/m^2K]	**0.17**
Spessore totale [cm]	26.5
Attenuazione f_d [-]	**0.312**
Sfasamento φ [h]	**9.81**
Trasmittanza termica periodica |Yie| [W/m^2K]	**0.052**

Tabella 3.15 - Valori caratteristici della sezione significativa in corrispondenza del materiale isolante.

Figura 3.68 - Andamento del flusso termico all'interno della parete.

Da quanto detto si deduce che la presenza dei pilastri, pur portando a delle perturbazioni, non incide in maniera rilevante sul comportamento termico (Figura 3.68). Le prestazioni della parete in esame, inoltre, soddisfano a pieno i requisiti definiti dal D.P.R. 59/2009, presentando un valore di trasmittanza di molto inferiore al valore limite per la zona climatica più restrittiva, pari a 0,26 W/m^2K.

Il diagramma di Glaser di figura 3.69 rappresenta l'andamento delle pressioni di vapore e di saturazione all'interno del pannello di tamponamento. Da esso emerge la notevole importanza delle due lastre di chiusura interna ed esterna (elementi 3 e 5) del pannello intelaiato.

Figura 3.69 - Andamento delle pressioni di vapore negli strati del pannello di tamponamento di figura 3.67:
1. *lastra in cartongesso*
2. *lastra in gessofibra*
3. *pannello OSB*
4. *pannello ROCKWOOL ACOUSTIC 225 PLUS*
5. *pannello OSB*
6. *pannello ROCKWOOL FRONTROCK MAX E*
7. *intonaco.*

I numeri si riferiscono a quelli del dettaglio di figura 3.67.
Il diagramma è disegnato in scala con i valori di S_d

Stratigrafia	Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m³]	Massa superficiale Ms [kg/m²]	Costante di tempo τ [h]
1 Cartongesso	0.013	0.210	1050	900		
2 Gessofibra	0.013	0.360	1000	1180		
8 Pilastro Trilama	0.150	0.110	2500	400	**124.80**	**60.94**
4 ROCKWOOL FRONTROCK MAX E	0.070	0.036	1030	90		
5 Intonaco di calce e cemento	0.020	1.000	1130	1800		

Trasmittanza U_{st} [W/m²K]	**0.28**
Spessore totale [cm]	26.5
Attenuazione f_d [-]	**0.117**
Sfasamento φ [h]	**13.34**
Trasmittanza termica periodica |Yie| [W/m²K]	**0.032**
Incidenza struttura portante Ist	7,5%
Incidenza pannello Ip	92,5%

Tabella 3.16 - Valori caratteristici della sezione significativa in corrispondenza del pilastro.

Trasmittanza U_g [W/m²K]	**0.18**
Massa superficiale Ms [kg/m²]	**98.38**
Costante di tempo τ [h]	**19.20**
Attenuazione f_d [-]	**0.297**
Sfasamento φ [h]	**10.07**

Tabella 3.17 - Valori caratteristici totali della parete di figura 3.68.

Per quanto riguarda la tenuta all'aria e al vento, le problematiche del sistema costruttivo a travi e pilastri, sono simili a quelle del sistema a pannelli intelaiati, data la analogia delle soluzioni costruttive. L'unica differenza risiede nella presenza del pilastro tra un pannello e l'altro che determina una doppia soluzione di continuità, in corrispondenza della quale dovrà essere posto un nastro di tenuta (Figura 3.70).

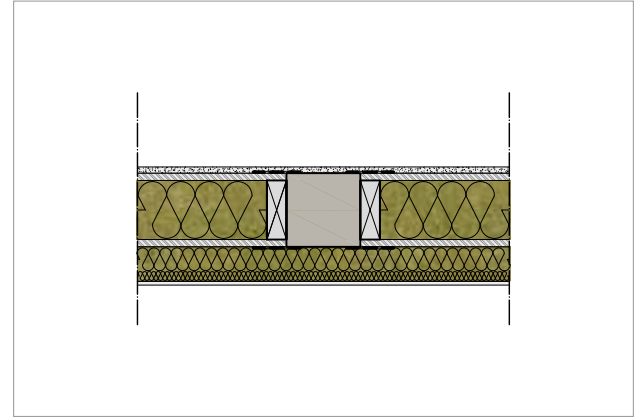



Figura 3.70 - Nastratura delle giunzioni pilastro-pannello per la tenuta all'aria.

Riferimenti bibliografici

[1] P. GARDINO, «Il mercato italiano delle case in legno nel 2010. Analisi del mercato. Previsioni fino al 2015,» promo_legno, 2010.

[2] D.Lgs 311 e ss. mm., 2006.

[3] G. PASETTO, F. PERON e P. ROMAGNONI, «Le prestazioni di isolamento termico ed acustico delle strutture in XLam,» CNR IVALSA, S. Michele all'Adige (TN), 2013.

[4] M. TEIBINGER e I. MATZINGER, Construction with Cross-Laminated Timber in Multi-Storey Buildings. Focus on Building Physics, Vienna: Holzforschung Austria, 2013.

[5] CedecArt, «Rapporto di prova 5347/RP/11, 27/10/11, Misura del potere fonoisolante parete X-lam con cappotto e controparete,» ITC Istituto per le tecnologie della costruzione, San Giuliano Milanese (MI), 2011.

[6] CedecArt, «Rapporto di prova 5348/RP/11, 27/10/11, Misura del potere fonoisolante parete in legno con cappotto e controparete,» ITC Istituto per le tecnologie della costruzione, San Giuliano Milanese (MI), 2011.

[7] ROCKWOOL, «Potere fonoisolante apparente secondo la UNI EN ISO 140-4:2000, Misurazione in opera dell'isolamento acustico per via aerea tra ambienti,» Spectra S.r.l, ARCORE (MILANO), 2014.

[8] L. PAGNONCELLI, A.GADOTTI, A. FRATTARI, E.BAZZINI, L. MORAN, "Acoustic Performance of Cross-Laminated Timber System (CLT): In Situ Measurements of Airborne and Impact Sound Insulation for Different Configurations", 40th IAHS World Congress on Housing, Funchal (Portugal), 2014

[9] W. TEETZ, L. MÄLHER, A. FRÜHWALD, G. HAUSER, H. GRÖGER e H. KREUZINGER, Das Wohnblockhaus, vol. R1/T3/F5, Monaco: INFORMATIONSDIENST HOLZ Holzbau Handbuch, 2008.

[10] ROCKWOOL, «Livello di pressione sonora di calpestio normalizzato rispetto all'assorbimento acustico secondo UNI EN ISO 140-7:2000 Misurazione in opera dell'isolamento dal rumore di calpestio di solai,» Spectra S.r.l., Arcore (MI), 2014.

[11] «Schallschutz bei Holzbalkendecken,» Institut für Lärmschutz.

[12] H. SCHULZE, Grundlagen des Schallschutzes in Holzbauten, vol. R3/T3/F1, Monaco: INFORMATIONSDIENST HOLZ Holzbau Handbuch, 2008.

[13] Benestare Tecnico Europeo ETA-06/0138.

[14] Decisione della Commissione che determina le classi di reazione all'azione dell'incendio per taluni prodotti da costruzione, 2003.

[15] A. BIRGIT e L. OSTMAN, Fire safety in timber buildings. Technical guideline in Europe, SP Sveruges TekniskaForskninginstitut, 2010.

[16] CedecArt, «Rapporto di classificazione N° CSI1632FR di resistenza al fuoco dell'elemento DOLOMITI X-LAM SYSTEM - "D.X.S." - Parete divisoria portante in legno, 27/01/2011,» CSI, Bollate (MI), 2011.

[17] CedecArt, «Rapporto di classificazione N° CSI1630FR di resistenza al fuoco dell'elemento DOLOMITI PLATFORM FRAME SYSTEM - Parete divisoria portante in legno, 27/01/2011,» CSI, Bollate (MI), 2011.

[18] Ministero dell'Interno - Dipartimento dei Vigili del Fuoco, «Guida Tecnica su requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili - Aggiornamento, Allegato alla lettera circolare del 15 aprile 2013, prot. 0005043,» 2013.

[19] Ufficio prevenzione incendi - Corpo Permanente Vigili del Fuoco della Provincia di Trento, «Sicurezza antincendio negli edifici in legno soggetti al controllo dei Vigili del Fuoco,» 2011.

[20] ARCA ARchitettura Comfort Ambiente, Manuale tecnico ARCA, Camino Sicuro, S. Menapace, A cura di, Trento, 2013.

[21] D. GARBIN, L. RAGGI e C. RESCH, Linee guida Camino, Bolzano: Sezione degli Spazzacamini LVH-APA, 2013.

[22] A. CECCOTTI, M. YASUMURA, C. MINOWA, M. Lauriola e C. Sandhaas, «Which seismic behaviour factor for multi-storey buildings made of cross-laminated wooden panels?,» Proceedings of the 39th CIB-W18-Meeting, n. paper 39-15-2, 2006.

[23] C. BEDON, M. FRAGIACOMO, C. SADOCH e A. BATTISTI, «Experimental study and numerical investigation of "Blockhaus" shear walls subjected to in-plane seismic loads,» Journal of Structural Engineering, n. 2, 2014.

[24] C. SADOCH, «Tesi: Analisi sperimentale di pareti blockhaus soggette a carichi laterali,» Università degli studi di Trieste, A.A. 2010/2011.

Bibliografia

SISTEMI COSTRUTTIVI PER EDIFICI IN LEGNO

BERGSTAD, R., 1983, "Fredede hus og anlegg", Universitetsforlaget.

BJERKE, R., IVERSEN F., WERNERSEN, E., 1991, "Carpentry and Joinery", Universitetsforlaget.

BLASER, W., 1983, "Bauernhaus der Schweiz", Birkhauser Verlag.

BRUNSKILL, R.W., 1985, "Timber building in Britain", Victor Gollancz Ltd.

BUGGE, G., NORBERG SCHULZ, C., 1979, "Stav og laft", Fabritius Forlag.

CECCOTTI, A, et al., 2007, "Progetto Sofie. Sistema costruttivo Fiemme", CNR IVALSA,

CHRISTIE, H., 1979, "Production de maisons prefabriquees en bois", Fabritius Forlag.

DEPLAZES, A., et al., 2005, "Massivholzbau", Lignum.

FRATTARI, A., GAROFOLO, I., 1996, "Architettura e tecnica degli edifici in legno-Vol.1-Procedimenti a setti portanti", Saturnia Editrice.

FRATTARI, A., GAROFOLO, I., 2004, "Evoluzione degli edifici intelaiati di legno", Daniela Piazza Editore.

FRATTARI, A., 2010, "Edifici di legno: tecniche costruttive" in IL PROGETTO SOSTENIBILE, v. 25, n. 8.

GOTZ, K.H., HOOR, D., MOHLER, K., NATTERER, J., 1984, "Costruire en bois", Presses Polytechniques Romandes.

GRAUBNER, W., 1990, "Assemblages di bois l'Europe et le Japon face à face", Livre Total S.A.

GUAZIN-MÜLLER, D., 1990, "Le bois dans la construction", Editions du Moniteur.

HÅKANSSON, S.G., 1976, "Fran stock till stuga", ICA bokforlag.

HALLQUIST, A., 1987, "Trehus", Byggeforsk.

HERZOG, T., NATTERER, J., 1984, "Habbiler de verre et de bois Gebäudehüllen aus Glas und Holz", Presses Polytechniques Romandes.

JONES, R.P., BALL J.E., 1973, "Framing, Sheathing and Insulation", Delmar Publishers.

KLOCHNER, K., 1982, "Der Block - bau", Verlag Georg D. W. Callwey.

KOLB J., 1998, "Systembau mit Holz: Tragkonstruktion und Schichlaufbau der Bauteile", Bauverlag.

KUTTINGER, G., 1986, "Costruzioni in legno - esempi", Palutan Editrice.

OPOLOVNIKOV, A., OPOLOVNIKOV, Y., 1989, "The Wooden Architecture of Russia", Thames and Hudson.

OVERSYN, A., 1989, "Norske tommerhus fra mellomalderen", Landbruksforlaget.

PHLEPS, H., 1958, "Die norwegischen Stabkirchen", Bruderverleg.

SJOMAR, P., 1988, "Byggnadsteknik och Timmermanskonst", Goteborg.

SOBON, J., SCHROEDER, R., 1984, "Timber Frame Costruction", Garden Way Publishing Book.

SUZUKI, M., NORBERG SCHULZ, C., 1979, "Holzhauser in Europa", Office du Livre.

SWINDELLS, D.J., 1987, "Timber Frame Houses", David & Charles.

TEIBINGER M., 2013, "Construction with CLT in multistorey building. Focus on building physics", Holz Forschung.

VIESTAD, K.M., 1973, "Konstruksjoner i tre Tømrerarbeid", Universitetsforlaget.

AA.VV., 1979, "Canadian Wood - Frame House Costruction", Metric Edition.

AA.VV., 1994, "L'encyclopédie diderot et d'alembert - L'art de charpenterie", Inter - Livres.

AA.VV., 1990, "Holzhauser im Alpenraum" - IRB Literaturauslese Nr. 2093, IRB Verlag.

AA.VV., 1996, "Informationsdienst Holz hh 1/3/5, Das Wohnblockhaus", Arbeitsgemeinschaft Holz e.V.

AA.VV., 2000, "Informationsdienst Holz hh 1/1/4, Holzbausysteme", Arbeitsgemeinschaft Holz e.V.

AA.VV., 2009, "Informationsdienst Holz hh 1/1/7, Holzrahmenbau", Arbeitsgemeinschaft Holz e.V.

COMFORT TERMO-IGROMETRICO

BENEDETTI, C., 2014, "Costruire in legno. Edifici a basso consumo energetico", Bozen-Bolzano University Press.

CANADIAN WOOD COUNCIL, 2002, "Moisture and Wood-Frame Buildings", International Building Series.

CECCOTTI, A., ROMAGNONI, P., "Valutazione delle prestazioni di involucro in pannello multistrato in legno", CNR IVALSA.

PASETTO, G., "Il tetto ventilato", CNR IVALSA.

PASETTO, G., PERON, F., ROMAGNONI, P., 2013, "Le prestazioni di isolamento termico ed acustico delle strutture in XLam", CNR IVALSA.

UNI EN ISO 13786, 2008, "Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo".

UNI EN ISO 13788, 2013, "Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo.

TENUTA ALL'ARIA E AL VENTO

SCHNEIDER N., 2006, "Dicht? Luftdichtigkeit im Holzskelettbau", Bauhandwerk.

SKOGSTAD, H.B., GULLBREKKEN, L., NORE, K., 2011, "Air leakages in cross laminated timber (CLT) constructions".

UNI EN 12114, 2001, "Prestazione termica degli edifici - Permeabilità all'aria dei componenti e degli elementi per l'edilizia - Metodo di prova di laboratorio".

ISOLAMENTO ACUSTICO

LATHELA, T., 2005, "Sound insulation. Guidelines for wooden buildings", Wood Focus Oy.

PIFFER, A., RESENTERRA, E., 2013, "Prestazioni acustiche passive degli edifici in legno: risultati del collaudo in opera", Canale Focus.

QUIRT, J.D., NIGHTINGALE, R.R.T., KING, F., 2006, "Guide for sound insulation in wood frame buildings", NRC-CNRC CANADA.

COMPORTAMENTO AL FUOCO

CANADIAN WOOD COUNCIL, 2002, "Fire resistance and sound trasmission in wood-frame residential buildings", International Building Series.

ÖSTMAN, B., et al., 2010, "Fire safety in timber buildings. Technical guideline for Europe", SP Technical Research Institute of Sweden.

UNI EN 1995-1-2, 2009, "Eurocodice 5, Progettazione delle strutture in legno - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio".

SICUREZZA STATICA E AL SISMA

CECCOTTI, A., FOLLESA, M., LAURIOLA, P., 2007, "Le strutture di legno in zona sismica", CLUT.

PIAZZA, M., TOMASI, R., MODENA, R., 2005, "Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee", Hoepli.

UNI EN 1995-1-1, 2009, "Eurocodice 5, Progettazione delle strutture in legno - Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici".

Il Gruppo Rockwool è leader mondiale nella fornitura di prodotti e sistemi innovativi in lana di roccia, materiale che aiuta a proteggere l'ambiente migliorando la qualità della vita di milioni di persone.

È presente prevalentemente in Europa e sta espandendo le proprie attività in Nord America oltre che in Asia.

Il Gruppo è tra i leader mondiali nell'industria dell'isolamento. Infatti, oltre alla gamma di pannelli in lana di roccia per la coibentazione termo-acustica, Rockwool propone controsoffitti acustici e rivestimenti di facciata che permettono di realizzare edifici sicuri in caso di incendio, efficienti dal punto di vista energetico e caratterizzati da un comfort acustico ottimale.
Rockwool offre anche soluzioni "green" per la coltivazione fuori terra, fibre speciali per l'utilizzo industriale, isolamento per l'industria di processo e per la coibentazione del settore navale, così come sistemi anti-vibrazione e anti-rumore per le moderne infrastrutture.

Inoltre, i servizi di consulenza in fase preliminare e di realizzazione rappresentano un plus unico nel mercato dell'isolamento e rendono Rockwool il partner ideale nell'iter progettuale e costruttivo.

Rockwool Italia S.p.A.
Via Londonio, 2
20154 Milano
02.346.13.1
www.rockwool.it

ISBN 978-88-908722-2-8